

А. В. Перышкин

ФИЗИКА

8







А. В. Перышкин



ФИЗИКА

Учебник для общеобразовательных учреждений

Рекомендовано
Министерством
образования и науки
Российской Федерации





Москва



2013

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
П27

**Учебник получил положительное заключение
Российской академии наук (№ 10106-5215/26 от 29.09.2011)
и Российской академии образования (№ 01-5/7д-516 от 24.10.2011)**

Учебник доработан и подготовлен к изданию
Н. В. Филонович

Перышкин, А. В.
П27 Физика. 8 кл. : учеб. для общеобразоват. учреждений / А. В. Перышкин. — М. : Дрофа, 2013. — 237, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-358-09884-8

Учебник доработан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта, рекомендован Министерством образования и науки РФ и включен в Федеральный перечень учебников.

Большое количество красочных иллюстраций, разнообразные вопросы и задания, а также дополнительные сведения и любопытные факты способствуют эффективному усвоению учебного материала.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-358-09884-8

Глава 1 ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 1 ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ. ТЕМПЕРАТУРА

В окружающем нас мире происходят различные физические явления, которые связаны с нагреванием и охлаждением тел. Мы знаем, что при нагревании холодная вода вначале становится тёплой, а затем горячей.

Такими словами, как «холодный», «тёплый» и «горячий», мы указываем на различную степень нагретости тел, или, как говорят в физике, на различную *температуру* тел. Температура горячей воды выше температуры холодной. Температура воздуха летом выше, чем зимой.

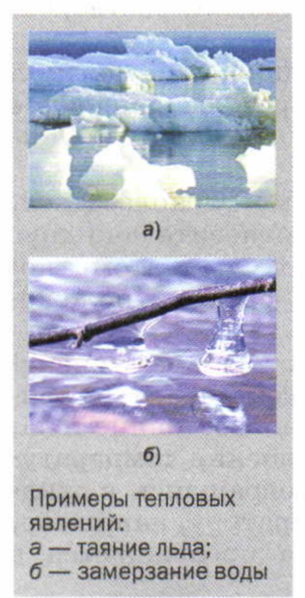
Температуру тел измеряют с помощью термометра и выражают в *градусах Цельсия* (°C).

Вам уже известно, что диффузия при более высокой температуре происходит быстрее. Это означает, что скорость движения молекул и температура связаны между собой. При повышении температуры скорость движения молекул увеличивается, при понижении — уменьшается.

Следовательно, *температура тела зависит от скорости движения молекул*.

Тёплая вода состоит из таких же молекул, как и холодная. Разница между ними заключается лишь в скорости движения молекул.

Явления, связанные с нагреванием или охлаждением тел, с изменением температуры, называются ***тепловыми***. К таким явлениям относятся, например, нагревание и охлаждение воздуха, таяние льда, плавление металлов и др.



Примеры тепловых явлений:
а — таяние льда;
б — замерзание воды

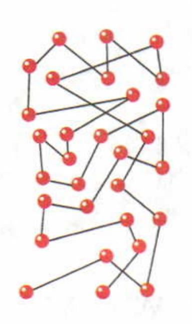
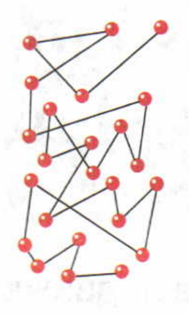
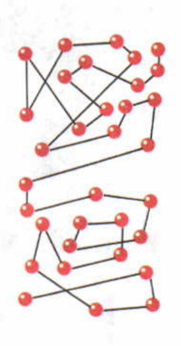




Рис. 1. Траектория движения микрочастиц краски, растворённой в воде

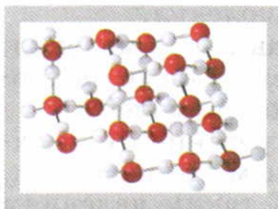
Молекулы или атомы, из которых состоят тела, находятся в непрерывном беспорядочном движении. Их количество в окружающих нас телах очень велико. Так, в объёме, равном 1 см^3 воды, содержится около $3,34 \cdot 10^{22}$ молекул. Каждая молекула движется по очень сложной траектории. Это связано с тем, что, например, частицы газа, движущиеся с большими скоростями в разных направлениях, сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. В результате этого они изменяют свою скорость и снова продолжают движение. На рисунке 1 изображены траектории движения микроскопических частиц краски, растворённой в воде.

Плавление металла

Поскольку со скоростью движения молекул тела связана его температура, беспорядочное движение частиц называют ***тепловым движением***.

В жидкостях молекулы могут колебаться, вращаться и перемещаться относительно друг друга. В твёрдых телах молекулы и атомы колеблются около некоторых средних положений.

В тепловом движении участвуют все молекулы тела, поэтому с изменением характера теплового движения изменяется и состояние тела, его свойства. Так, при повышении температуры лёд начинает таять, превращаясь в жидкость. Если понижать температуру, например, ртути, то она из жидкости превращается в твёрдое тело.



Модель кристаллической решётки льда

Температура тела находится в тесной связи со средней кинетической энергией молекул. Чем выше температура тела, тем больше средняя кинетическая энергия его молекул. При понижении температуры тела средняя кинетическая энергия его молекул уменьшается.

? Вопросы 1. Какие тепловые явления вы знаете? 2. Что характеризует температура? 3. Как связана температура тела со скоростью движения его молекул? 4. Чем отличается движение молекул в газах, жидкостях и твёрдых телах?

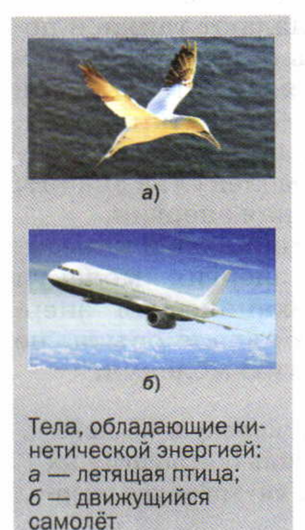
§ 2 ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

При изучении физики рассматриваются механические, тепловые, световые, электрические и другие явления. С некоторыми механическими явлениями мы уже познакомились. Известно также, что существует два вида механической энергии: ***кинетическая*** и ***потенциальная***.

Всякое движущееся тело обладает кинетической энергией. Так, например, кинетической энергией обладает летящая птица, движущиеся самолёт, мяч, текущая вода и т. д. Кинетическая энергия тела зависит от его массы и от скорости движения тела.

Потенциальная энергия определяется взаимным положением взаимодействующих тел или его отдельных частей. Например, потенциальной энергией обладают поднятый над землёй камень, сжатая или растянутая пружина и т. д.

Кинетическая и потенциальная энергия — *это два вида механической энергии, они могут превращаться друг в друга*.



а)

б)

Тела, обладающие кинетической энергией: *а* — летящая птица; *б* — движущийся самолёт

Как же происходит превращение одного вида энергии в другой?

Свинцовый шар, лежащий на свинцовой плите, поднимем вверх и отпустим (рис. 2, *а*). При падении скорость шара увеличивается, а высота подъёма уменьшается. Следовательно, его кинетическая энергия возрастает, а по-



Тела, обладающие потенциальной энергией: *а* — деформированная пружина; *б* — камень, поднятый над Землёй

тенциальная уменьшается. Это значит, что происходит превращение потенциальной энергии шара в кинетическую. После того как шар ударится о свинцовую плиту, он остановится (рис. 2, *б*). Его кинетическая и потенциальная энергия будут равны нулю.

Значит ли это, что механическая энергия, которой обладал шар, бесследно исчезла? По-видимому, нет.

Механическая энергия превратилась в другую форму энергии. Что же представляет собой эта другая форма энергии? Рассмотрим шар и плиту после удара. Оказывается, что шар немного сплюснулся, а на плите возникла небольшая вмятина. Шар и плита при ударе *деформировались.* Измерим температуру шара и плиты сразу после удара. Мы заметим, что они нагрелись.

Таким образом, в результате удара шара о плиту изменилось состояние этих тел — они деформировались и нагрелись. Но если изменилось состояние тел, то изменилась и энергия частиц, из которых состоят тела. Действительно, мы знаем, что при нагревании тела увеличивается средняя скорость движения молекул. Значит, увеличивается их средняя кинетическая энергия. Молекулы обладают также и потенциальной энергией. Ведь они взаимодействуют друг с другом: притягиваются, а при дальнейшем сближении — отталкиваются. Когда тело деформировалось, то изменилось взаимное расположение его молекул, а значит, изменилась и их потенциальная энергия.

Итак, при соударении изменилась и кинетическая, и потенциальная энергия молекул свинца. Следовательно, механическая энергия, которой обладал шар в начале опыта, не исчезла. Она перешла в энергию молекул.

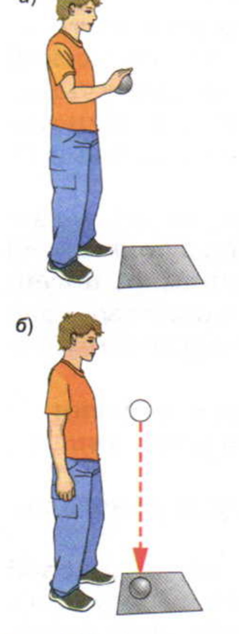


Рис. 2. Превращение механической энергии свинцового шара

Кинетическая энергия всех молекул, из которых состоит тело, и потенциальная энергия их взаимодействия составляют внутреннюю энергию тела.

При изучении тепловых явлений учитывают только энергию молекул, потому что главным образом она изменяется в этих явлениях. В дальнейшем, рассматривая внутреннюю энергию тела, мы будем понимать под ней кинетическую энергию теплового движения и потенциальную энергию взаимодействия молекул тела.

Вернёмся к опыту со свинцовым шаром и плитой (см. рис. 2).

При остановке шара механическое движение прекращается, но зато усиливается беспорядочное (тепловое) движение его молекул. Механическая энергия превращается во внутреннюю энергию шара.

Итак, кроме механической энергии, существует ещё один вид энергии. Это ***внутренняя энергия*** тела.

Внутренняя энергия зависит от температуры тела, агрегатного состояния вещества и других факторов. (Более подробно это будет изучено в 10 классе.)

Поднимем тело, например мяч, над столом. При этом расстояние между молекулами мяча не меняется. Значит, не меняется и потенциальная энергия взаимодействия молекул. Следовательно, поднимая мяч, мы не изменяем его внутреннюю энергию.

Будем двигать мяч относительно стола. От этого его внутренняя энергия также не изменится.



Летящая пуля кроме внутренней энергии обладает и механической

Следовательно, *внутренняя энергия тела не зависит ни от механического движения тела, ни от положения этого тела относительно других тел.*

Тело, имея некоторый запас внутренней энергии, одновременно может обладать и механической энергией. Например, пуля, летящая на некоторой высоте над землёй, кроме внутренней энергии, обладает ещё и механической энергией — потенциальной и кинетической.

Кинетическая и потенциальная энергия одной молекулы — очень маленькая величина, ведь масса молекулы мала. Поскольку в теле содержится множество молекул, то внутренняя энергия тела, равная сумме энергий всех молекул, достаточно велика.

? Вопросы 1. Какие превращения энергии происходят при подъёме шара и при его падении? 2. Как изменяется состояние свинцового шара и свинцовой плиты в результате их соударения? 3. Какую энергию называют внутренней энергией тела? 4. Зависит ли внутренняя энергия тела от его движения и положения относительно других тел?

УПРАЖНЕНИЕ 1

1. Какими видами механической энергии обладают молекулы вещества вследствие своего движения?
2. Какое тело обладает большей внутренней энергией: кусок льда при температуре 0 °С или полученная из этого куска льда вода при 0 °С?

ЗАДАНИЕ

- Положите мячик на край стола. Столкните его. Объясните, почему мячик при отскоке не смог подняться до уровня стола.

§ 3 СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ТЕЛА

Внутренняя энергия тела не является какой-то постоянной величиной. У одного и того же тела она может изменяться.

При повышении температуры внутренняя энергия тела увеличивается, так как увеличивается средняя скорость движения молекул.

Следовательно, возрастает кинетическая энергия молекул этого тела. *С понижением температуры, наоборот, внутренняя энергия тела уменьшается.*

Таким образом, *внутренняя энергия тела меняется при изменении скорости движения молекул.*

Попытаемся выяснить, каким способом можно увеличить или уменьшить скорость

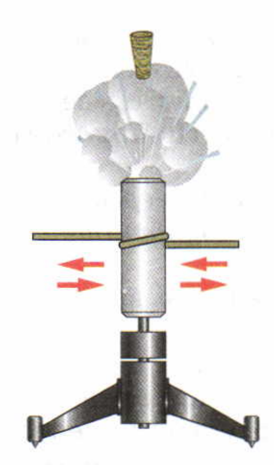


Рис. 3. Увеличение внутренней энергии тела при совершении работы над ним

движения молекул. Для этого проделаем следующий опыт. Укрепим тонкостенную латунную трубку на подставке (рис. 3). Нальём в трубку немного эфира и закроем пробкой. Затем трубку обовьём верёвкой и начнём быстро двигать её то в одну сторону, то в другую. Через некоторое время эфир закипит, и пар вытолкнет пробку. Опыт показывает, что внутренняя энергия эфира увеличилась: ведь он нагрелся и даже закипел.

Увеличение внутренней энергии произошло в результате совершения работы при натирании трубки верёвкой.

Нагревание тел происходит также при ударах, разгибании и сгибании, т. е. при деформации. Внутренняя энергия тела во всех приведённых примерах увеличивается.

Следовательно, *внутреннюю энергию тела можно увеличить, совершая над телом работу.*

Если же работу совершает само тело, то *его внутренняя энергия уменьшается.*

Проделаем следующий опыт.

В толстостенный стеклянный сосуд, закрытый пробкой, накачаем воздух через специальное отверстие в ней (рис. 4).

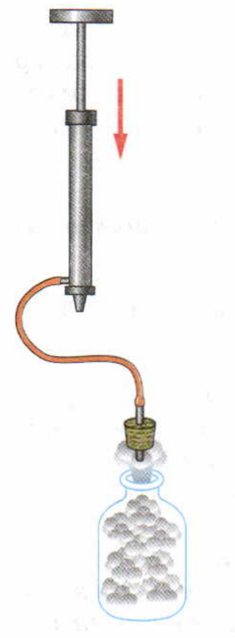
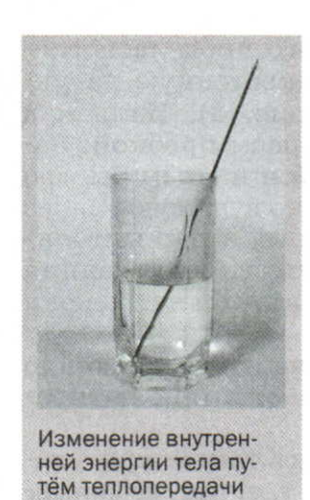


Рис. 4. Уменьшение внутренней энергии тела при совершении работы самим телом

Через некоторое время пробка выскочит из сосуда. В момент, когда пробка выскакивает из сосуда, образуется туман. Его появление означает, что воздух в сосуде стал холоднее. Находящийся в сосуде сжатый воздух, выталкивая пробку, совершает работу. Эту работу он совершает за счёт своей внутренней энергии, которая при этом уменьшается. Судить об уменьшении внутренней энергии можно по охлаждению воздуха в сосуде. Итак, *внутреннюю энергию тела можно изменить путём совершения работы.*

Внутреннюю энергию тела можно изменить и другим способом, *без совершения работы.* Например, вода в чайнике, поставленном на плиту, закипает. Воздух и различные предметы в комнате нагреваются от радиатора цент-


Изменение внутренней энергии тела путём теплопередачи

рального отопления, крыши домов нагреваются лучами солнца и т. п. Во всех этих случаях повышается температура тел, а значит, увеличивается их внутренняя энергия. Но при этом работа не совершается.

Значит, *изменение внутренней энергии может происходить не только в результате совершения работы.*

Как можно объяснить увеличение внутренней энергии в этих случаях?

Рассмотрим следующий пример.

Опустим в стакан с горячей водой металлическую спицу. Кинетическая энергия молекул горячей воды больше кинетической энергии частиц холодного металла. Молекулы горячей воды при взаимодействии с частицами холодного металла будут передавать им часть своей кинетической энергии. В результате этого энергия молекул воды в среднем будет уменьшаться, а энергия частиц металла будет увеличиваться. Температура воды уменьшится, а температура металлической спицы постепенно увеличится. Через некоторое время их температуры выравняются. Этот опыт демонстрирует изменение внутренней энергии тел.

Итак, *внутреннюю энергию тел можно изменить путём теплопередачи.*

Процесс изменения внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом называется теплопередачей.

Теплопередача всегда происходит в определённом направлении: от тел с более высокой температурой к телам с более низкой.

Когда температуры тел выравняются, теплопередача прекращается.

Внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами: совершая механическую работу или теплопередачей.

Теплопередача, в свою очередь, может осуществляться: 1) *теплопроводностью*; 2) *конвекцией*; 3) *излучением*.



1. Пользуясь рисунком 3, расскажите, как изменяется внутренняя энергия тела, когда над ним совершают работу. **2.** Опишите опыт, показывающий, что за счёт внутренней энергии тело может совершить работу. **3.** Приведите примеры изменения внутренней энергии тела способом теплопередачи. **4.** Объясните на основе молекулярного строения вещества нагревание спицы, опущенной в горячую воду. **5.** Что такое теплопередача? **6.** Какими двумя способами можно изменить внутреннюю энергию тела?

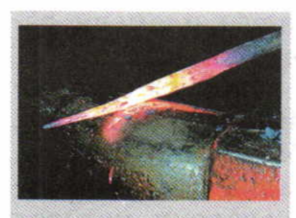
УПРАЖНЕНИЕ 2

1. Сила трения совершает над телом работу. Меняется ли при этом внутренняя энергия тела? По каким признакам можно судить об этом?
2. При быстром спуске по канату нагреваются руки. Объясните, почему это происходит.

ЗАДАНИЕ

- Положите монету на лист фанеры или деревянную доску. Прижмите монету к доске и двигайте её быстро то в одну, то в другую сторону. Заметьте, сколько раз надо передвинуть монету, чтобы она стала тёплой, горячей. Сделайте вывод о связи между выполненной работой и увеличением внутренней энергии тела.

§ 4 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ



Передача внутренней энергии от одной части гвоздя к другой при нагревании

В предыдущем параграфе мы выяснили, что при опускании металлической спицы в стакан с горячей водой очень скоро конец спицы становился тоже горячим. Следовательно, внутренняя энергия, как и любой вид энергии, может быть передана от одних тел к другим. Внутренняя энергия может передаваться и от одной части тела к другой. Так, например, если один конец гвоздя нагреть в пламени, то другой его конец, находящийся в руке, постепенно нагреется и будет жечь руку.

Явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому при их непосредственном контакте называется теплопроводностью.


Нагревание стеклянной палочки в горячей воде, свидетельствующее о плохой теплопроводности стекла

Изучим это явление, проделав ряд опытов с твёрдыми телами, жидкостью и газом.

Внесём в огонь конец деревянной палки. Он воспламенится. Другой конец палки, находящийся снаружи, будет холодным. Значит, дерево обладает *плохой теплопроводностью*.

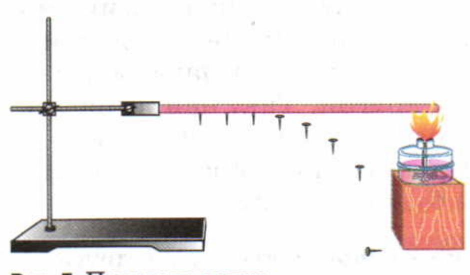
Поднесём к пламени спиртовки конец тонкой стеклянной палочки. Через некоторое время он нагреется, другой же конец останется холодным. Следовательно, и стекло имеет *плохую теплопроводность*.

Если же мы будем нагревать в пламени конец металлического стержня, то очень скоро весь стержень сильно нагреется. Удержать его в руках мы уже не сможем.

Значит, металлы хорошо проводят тепло, т. е. имеют *большую теплопроводность*. Наибольшей теплопроводностью обладают серебро и медь.

Рассмотрим передачу тепла от одной части твёрдого тела к другой на следующем опыте.

Закрепим один конец толстой медной проволоки в штативе. К проволоке прикрепим воском несколько гвоздиков. При нагревании свободного конца проволоки в пламени спиртовки воск будет таять. Гвоздики начнут постепенно отваливаться (рис. 5). Сначала отпадут те, которые расположены ближе к пламени, затем по очереди все остальные.


Рис. 5. Передача тепла от одной части твёрдого тела к другой

Выясним, как происходит передача энергии по проволоке. Скорость колебательного движения частиц металла увеличивается в той части проволоки, которая ближе расположена к пламени. Поскольку частицы постоянно взаимодействуют друг с другом, то увеличивается скорость движения соседних частиц. Начинает повышаться температура следующей части проволоки и т. д.

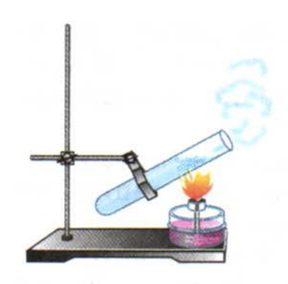


Рис. 6. Теплопроводность жидкости

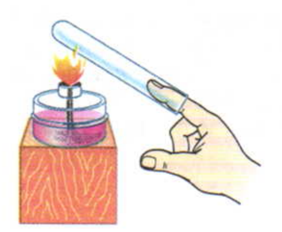


Рис. 7. Теплопроводность газа

Следует помнить, *что при теплопроводности не происходит переноса вещества от одного конца тела к другому*.

Рассмотрим теперь теплопроводность жидкостей. Возьмём пробирку с водой и станем нагревать её верхнюю часть. Вода у поверхности скоро закипит, а у дна пробирки за это время она только нагреется (рис. 6). Значит, у жидкостей *теплопроводность невелика*, за исключением ртути и расплавленных металлов.

Это объясняется тем, что в жидкостях молекулы расположены на бо́льших расстояниях друг от друга, чем в твёрдых телах.

Исследуем теплопроводность газов. Сухую пробирку наденем на палец и нагреем в пламени спиртовки донышком вверх (рис. 7). Палец при этом долго не почувствует тепла.

Это связано с тем, что расстояние между молекулами газа ещё больше, чем у жидкостей и твёрдых тел. Следовательно, *теплопроводность у газов ещё меньше*.

Итак, ***теплопроводность у различных веществ различна.***

Опыт, изображённый на рисунке 8, показывает, что теплопроводность у различных металлов неодинакова.

Плохой теплопроводностью обладают шерсть, волосы, перья птиц, бумага, пробка и другие пористые тела. Это связано с тем, что между волокнами этих веществ содержится воздух. Самой низкой теплопроводностью обладает *вакуум* (освобождённое от воздуха пространство). Объясняется это тем, что теплопроводность — это перенос энергии от одной части

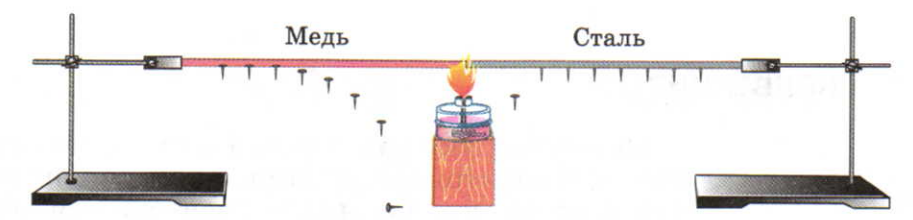


Рис. 8. Теплопроводность разных металлов

тела к другой, который происходит при взаимодействии молекул или других частиц. В пространстве, где нет частиц, теплопроводность осуществляться не может.

Если возникает необходимость предохранить тело от охлаждения или нагревания, то применяют вещества с малой теплопроводностью. Так, для кастрюль, сковородок ручки изготавливают из пластмассы. Дома строят из брёвен или кирпича, обладающих плохой теплопроводностью, а значит, предохраняющих помещения от охлаждения.

? Вопросы

1. Как происходит передача энергии по металлической проволоке? 2. Объясните опыт (см. рис. 8), показывающий, что теплопроводность меди больше, чем теплопроводность стали. 3. Какие вещества имеют наибольшую и наименьшую теплопроводность? Где их применяют? 4. Почему мех, пух, перья на теле животных и птиц, а также одежда человека защищают от холода?

УПРАЖНЕНИЕ 3

1. Почему глубокий рыхлый снег предохраняет озимые хлеба от вымерзания?
2. Подсчитано, что теплопроводность сосновых досок в 3,7 раза больше, чем сосновых опилок. Чем объяснить такую разницу?
3. Почему вода не замерзает под толстым слоем льда?
4. Почему выражение «шуба греет» неверно?

ЗАДАНИЕ

- Возьмите чашку с горячей водой и одновременно опустите в воду металлическую и деревянную ложки. Какая из ложек быстрее нагреется? Каким способом осуществляется теплообмен между водой и ложками? Как изменяется внутренняя энергия воды и ложек?

§ 5 КОНВЕКЦИЯ

Помещая руку над горячей плитой или над горящей электрической лампочкой, можно почувствовать, что над ними поднимаются тёплые струи воздуха.

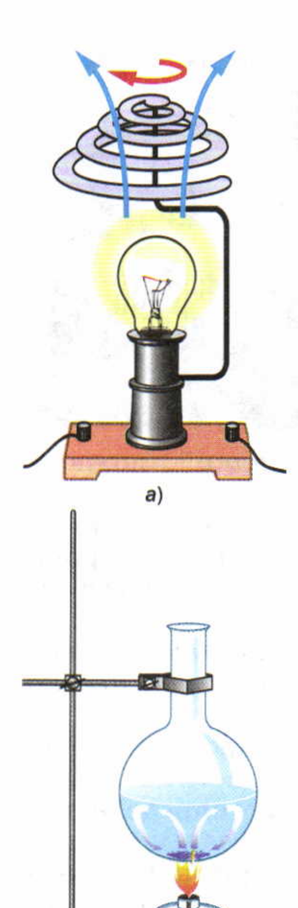


Рис. 9. Конвекция:
а — в воздухе;
б — в жидкости

Небольшая бумажная вертушка, поставленная над пламенем свечи или электрической лампочкой, под действием поднимающегося нагретого воздуха начинает вращаться (рис. 9, *а*).

Это явление можно объяснить таким образом. Воздух, соприкасаясь с тёплой лампой, нагревается, расширяется и становится менее плотным, чем окружающий его холодный воздух. Сила Архимеда, действующая на тёплый воздух со стороны холодного снизу вверх, больше, чем сила тяжести, которая действует на тёплый воздух. В результате нагретый воздух «всплывает», поднимается вверх, а его место занимает холодный воздух.

Такие же явления мы наблюдаем и при нагревании жидкости снизу. Нагретые слои жидкости — менее плотные и поэтому более лёгкие — вытесняются вверх более тяжёлыми, холодными слоями. Холодные слои жидкости, опустившись вниз, в свою очередь, нагреваются от источника тепла и вновь вытесняются менее нагретой водой. Благодаря такому движению вся вода равномерно прогревается. Этот процесс становится наглядным, если на дно колбы бросить несколько кристалликов марганцовокислого калия, который окрашивает струи воды в фиолетовый цвет (рис. 9, *б*).

В описанных опытах мы наблюдали ещё один вид теплопередачи, называемый ***конвекция*** (от лат. *конвекцио* — перенесение).

Следует помнить, *что при конвекции энергия переносится самими струями газа или жидкости.*

Так, например, в отапливаемой комнате благодаря конвекции поток тёплого воздуха поднимается вверх, а холодного опускается вниз (рис. 10). Поэтому у потолка воздух всегда теплее, чем вблизи пола.

Различают два вида конвекции: *естественную* (или *свободную*) и *вынужденную*. Так, нагревание жидкости, а также воздуха в комнате являются примерами естественной конвекции. Вынужденная конвекция наблюдается, если

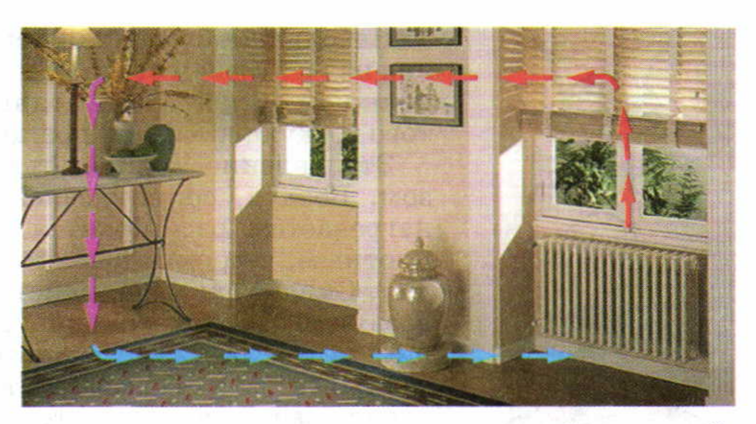


Рис. 10. Нагревание воздуха путём конвекции

перемешивать жидкость мешалкой, ложкой, насосом и т. д.

Если жидкости и газы прогревать не снизу, а сверху (см. рис. 6, 7), то конвекция не происходит. Нагретые слои не могут опуститься ниже холодных, более тяжёлых.

Следовательно, *для того чтобы в жидкостях и газах происходила конвекция, необходимо их нагревать снизу*.

Конвекция в твёрдых телах происходить не может. Вам уже известно, что частицы в твёрдых телах колеблются около определённой точки, удерживаемые сильным взаимным притяжением. В связи с этим при нагревании твёрдых тел в них не могут образовываться потоки вещества. Энергия в твёрдых телах может передаваться теплопроводностью.

? Вопросы

1. Объясните, как и почему происходит перемещение воздуха над нагретой лампой. **2.** Объясните, как происходит нагревание воды в колбе, поставленной на огонь. **3.** В чём состоит явление конвекции? **4.** Чем отличается естественная конвекция от вынужденной? **5.** Почему жидкости и газы нагревают снизу? **6.** Почему конвекция невозможна в твёрдых телах?

УПРАЖНЕНИЕ 4

1. Почему подвал — самое холодное место в доме?
2. Почему форточки для проветривания комнат помещают в верхней части окна, а радиаторы — у пола?
3. Каким способом охлаждается воздух в комнате зимой при открытой форточке?

ЗАДАНИЕ

- Включите настольную лампу и расположите над ней маленькую пушинку. Опишите, что вы наблюдаете. Объясните, с каким видом теплопередачи связано наблюдаемое явление.

Это любопытно...

Примеры конвекции в природе и технике

Ветры. В атмосфере Земли вследствие неодинакового нагрева воздуха в жарком поясе и в полярных областях возникает мощное конвекционное движение воздуха, образующее постоянно дующие ветры.

Одной из причин образования *пассатов* — ветров, дующих от субтропических областей к экватору, — является неравномерное нагревание земной поверхности солнцем. Средняя годовая температура на экваторе Земли на 50 °C выше, чем на её полюсах. В экваториальной зоне Земли нагретый воздух поднимается вверх. На его место с севера и юга притекает холодный воздух. Его движение и есть пассат. Потоки холодного воздуха вследствие вращения Земли движутся не вдоль меридиана, а отклоняются. В связи с этим в Северном полушарии пассаты имеют северо-восточное направление, а в Южном — юго-восточное.

Ветры вызывают образование океанических течений. Постоянно дующий в одном направлении ветер приводит в движение верхние слои воды. Они перемещаются в сторону ветра. Тёплые и холодные океанические течения могут служить примерами вынужденной конвекции.

Возникновение ветра на берегах морей — *бриза* — также объясняется конвекцией. В летние дни суша нагревается солнцем сильнее, чем вода в море. Нагревшийся от суши воздух поднимается вверх. Это происходит потому, что плотность воздуха уменьшается и давление становится меньше давления более холодного воздуха над морем.

На место тёплого воздуха с моря приходит более прохладный. Днём ветер дует поэтому с моря на сушу (*дневной бриз*). Ночью, наоборот, поверхность суши остывает быстрее, чем вода в море. Ветер меняет своё направление — дует с суши на море (*ночной бриз*).

Тяга. Вы знаете, что горение топлива без притока свежего воздуха невозможно. Горение топлива прекратится, если в трубу самовара, камина не будет поступать воздух. На практике используют естественный приток воздуха — *тягу*. На фабриках и заводах, на электростанциях, в ко-


Рис. 11. Модель для демонстрации тяги

тельных установках для усиления тяги устанавливают трубу (рис. 11). Воздух в трубе при горении нагревается, а значит, его плотность уменьшается. Следовательно, давление воздуха, находящегося в топке и трубе, становится меньше давления наружного воздуха. Возникает разность давлений. Вследствие разницы давлений холодный воздух поступает в топку, а тёплый поднимается вверх. Возникает тяга, которая усиливается при увеличении высоты трубы.

Отопление и охлаждение жилых помещений. В современных зданиях устанавливают водяное отопление. По всему зданию проводят систему распределительных труб, а от них вниз идут вертикальные трубы, которые проходят через комнаты здания. Из этих труб вода поступает в отопительные батареи. Вода отдаёт им своё тепло и возвращается в котёл, где снова нагревается. Так происходит циркуляция воды и прогревание воздуха за счёт конвекции.

Сегодня многие помещения оснащены кондиционерами, которые при необходимости могут не только нагревать помещение, но и охлаждать его.

§ 6 ИЗЛУЧЕНИЕ

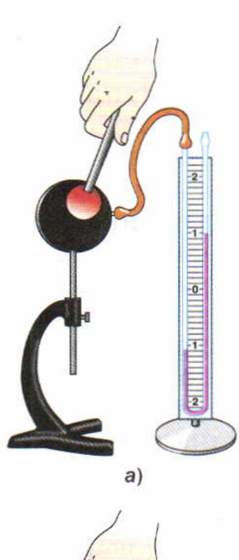
Вам хорошо известно, что основным источником тепла на Земле является Солнце. Каким же образом передаётся тепло от Солнца? Ведь Земля находится от него на расстоянии $15 \cdot 10^7$ км. Всё это пространство за пределами нашей атмосферы содержит очень разреженное вещество.


Излучение в природе

Как известно, в вакууме перенос энергии путём теплопроводности невозможен. Не может происходить он и за счёт конвекции. Следовательно, существует ещё один вид теплопередачи.

Изучим этот вид теплопередачи с помощью опыта.

Соединим жидкостный манометр при помощи резиновой трубки с теплоприёмником (рис. 12).



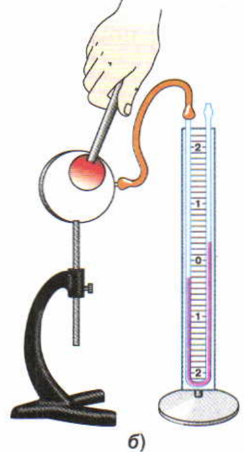


Рис. 12. Передача энергии путём излучения

Если к тёмной поверхности теплоприёмника поднести кусок металла, нагретый до высокой температуры, то уровень жидкости в колене манометра, соединённом с теплоприёмником, понизится (рис. 12, *а*). Очевидно, воздух в теплоприёмнике нагрелся и расширился. Быстрое нагревание воздуха в теплоприёмнике можно объяснить лишь передачей ему энергии от нагретого тела.

Энергия в данном случае передавалась не теплопроводностью. Ведь между нагретым телом и теплоприёмником находился воздух — плохой проводник тепла. Конвекция здесь также не может наблюдаться, поскольку теплоприёмник находится рядом с нагретым телом, а не над ним. Следовательно, *в данном случае передача энергии происходит путём* ***излучения***.

Передача энергии излучением отличается от других видов теплопередачи. Она может *осуществляться в полном вакууме.*

Излучают энергию все тела: и сильно нагретые, и слабо, например, тело человека, печь, электрическая лампочка и др. Но чем выше температура тела, тем больше энергии передаёт оно путём излучения. При этом энергия частично поглощается окружающими телами, а частично отражается. При поглощении энергии тела нагреваются по-разному, в зависимости от состояния поверхности.

Если повернуть теплоприёмник к нагретому металлическому телу сначала тёмной, а затем светлой стороной, то столбик жидкости в колене манометра, соединённом с теплоприёмником, в первом случае (см. рис. 12, *а*) понизится, а во втором (рис. 12, *б*) повысится. Это показывает, что тела с тёмной поверхностью лучше поглощают энергию, чем тела, имеющие светлую поверхность.



Серебристая поверхность метеозонда отражает солнечные лучи

В то же время тела с тёмной поверхностью охлаждаются быстрее путём излучения, чем тела со светлой поверхностью. Например, в светлом чайнике горячая вода дольше сохраняет высокую температуру, чем в тёмном.

Способность тел по-разному поглощать энергию излучения используется на практике. Так, поверхность воздушных метеозондов, крылья самолётов красят серебристой краской, чтобы они не нагревались солнцем. Если же, наоборот, необходимо использовать солнечную энергию, например в приборах, установленных на искусственных спутниках Земли, то эти части приборов окрашивают в тёмный цвет.



Вопросы 1. Как на опыте показать передачу энергии излучением? 2. Какие тела лучше, а какие хуже поглощают энергию излучения? 3. Как учитывает человек на практике различную способность тел поглощать энергию излучения?

УПРАЖНЕНИЕ 5

1. Летом воздух в здании нагревается, получая энергию различными способами: через стены, через открытое окно, в которое входит тёплый воздух, через стекло, которое пропускает солнечную энергию. С каким видом теплопередачи мы имеем дело в каждом случае?
2. Приведите примеры, показывающие, что тела с тёмной поверхностью сильнее нагреваются излучением, чем со светлой.
3. Почему можно утверждать, что от Солнца к Земле энергия не может передаваться конвекцией и теплопроводностью? Каким способом она передаётся?



ЗАДАНИЕ

- С помощью уличного термометра измерьте температуру сначала на солнечной стороне дома, затем на теневой. Объясните, почему различаются показания термометра.

Это любопытно...

Термос. Часто бывает необходимо сохранить пищу горячей или холодной. Чтобы помешать телу охладиться или нагреться, нужно уменьшить теплопередачу. При этом стремятся сделать так, чтобы энергия не

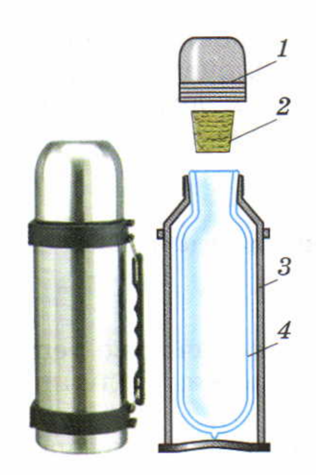


Рис. 13. Устройство термоса

передавалась ни одним видом теплопередачи: теплопроводностью, конвекцией, излучением. В этих целях используют *термос* (рис. 13).

Он состоит из стеклянного сосуда *4* с двойными стенками. Внутренняя поверхность стенок покрыта блестящим металлическим слоем, а из пространства между стенками сосуда выкачан воздух. Лишённое воздуха пространство между стенками почти не проводит тепло. Металлический же слой, отражая, препятствует передаче энергии излучением. Чтобы защитить стекло от повреждений, термос помещают в специальный металлический или пластмассовый футляр *3*. Сосуд закупоривается пробкой *2*, а сверху навинчивается колпачок *1*.

Теплопередача и растительный мир. В природе и жизни человека растительный мир играет исключительно важную роль. Жизнь всего живого на Земле невозможна без воды и воздуха.

В слоях воздуха, прилегающих к Земле, и почве постоянно происходит изменение температуры. Почва нагревается днём, так как поглощает энергию. Ночью, наоборот, она охлаждается — отдаёт энергию. На теплообмен между почвой и воздухом влияет наличие растительности, а также погода.

Почва, покрытая растительностью, плохо прогревается излучением. Сильное охлаждение почвы наблюдается также в ясные, безоблачные ночи. Излучение от почвы свободно уходит в пространство. Ранней весной в такие ночи наблюдаются заморозки. Во время облачности уменьшается потеря энергии почвы путём излучения. Облака служат экраном.

Для повышения температуры почвы и предохранения посадок от заморозков используют теплицы. Стеклянные рамы или изготовленные из плёнки хорошо пропускают солнечное излучение (*видимое*). Днём почва нагревается. Ночью невидимое излучение почвы стекло или плёнка пропускают хуже. Почва не замерзает. Теплицы препятствуют также движению тёплого воздуха вверх — конвекции.

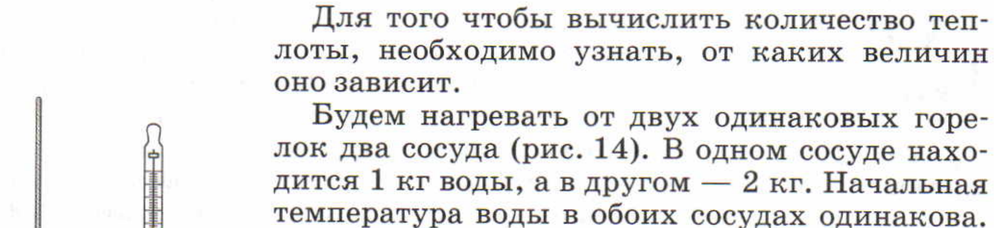
Вследствие этого температура в теплицах выше, чем в окружающем пространстве.



§ 7 КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ЕДИНИЦЫ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ

Вам уже известно, что внутренняя энергия тела может изменяться как путём совершения работы, так и путём теплопередачи (без совер-

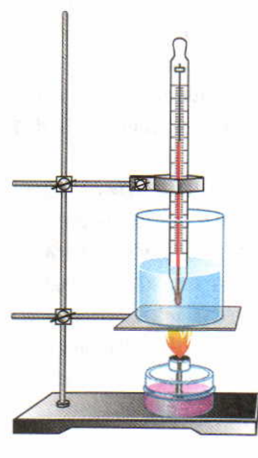
шения работы). Если изменение внутренней энергии происходит путём теплопередачи, то переход энергии от одних тел к другим осуществляется *теплопроводностью*, *конвекцией* или *излучением*.



Энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче, называется количеством теплоты.

Для того чтобы вычислить количество теплоты, необходимо узнать, от каких величин оно зависит.

Будем нагревать от двух одинаковых горелок два сосуда (рис. 14). В одном сосуде находится 1 кг воды, а в другом — 2 кг. Начальная температура воды в обоих сосудах одинакова. Мы заметим, что за одно и то же время во втором сосуде вода нагреется на меньшее число градусов, хотя оба сосуда получают одинаковое количество теплоты.



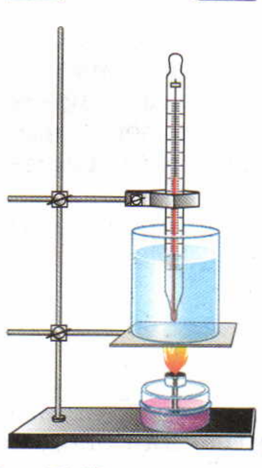


Рис. 14. Нагревание воды разной массы

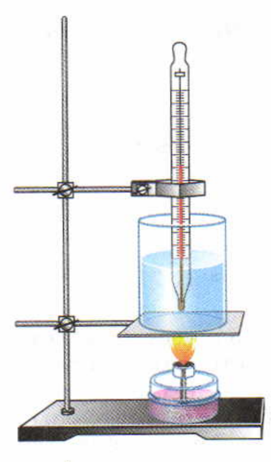
Следовательно, *количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела, зависит от его массы.*

Итак, ***чем больше масса тела, тем большее количество теплоты надо затратить, чтобы изменить его температуру на одно и то же число градусов.***

При остывании тело передаёт окружающим предметам тем большее количество теплоты, чем больше его масса.

Вам хорошо известно, что, если необходимо нагреть полный чайник (с водой) до температуры 50 °C, потребуется меньше времени, чем для нагревания чайника с водой той же массы до 100 °C. В первом случае воде будет передано меньшее количество теплоты, чем во втором.

Следовательно, количество теплоты, которое необходимо для нагревания, зависит от того, на сколько градусов нагревается тело. Это значит, *что количество теплоты зависит от разности температур тела.*



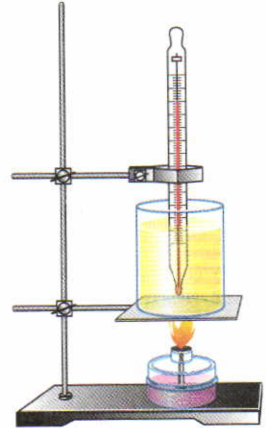


Рис. 15. Нагревание разных веществ равной массы

Но можно ли рассчитать количество теплоты, необходимое для нагревания не воды, а другого вещества, например свинца, железа, масла и т. д.?

Нальём в один сосуд воду, а в другой такой же сосуд — растительное масло (рис. 15). Массы воды и масла возьмём равные. Оба сосуда будем нагревать на одинаковых горелках. Опыт начнём при одинаковой начальной температуре воды и растительного масла. Измерив через некоторое время (например, 5 мин) температуру нагревшихся воды и масла, мы увидим, что масло имеет более высокую температуру, чем вода, хотя обе жидкости получили от горелок равные количества теплоты.

Из опыта нетрудно сделать вывод, что для нагревания равных масс воды и масла на одинаковую температуру требуется различное количество теплоты. Для масла требуется количества теплоты меньше, для воды больше.

Следовательно, *количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела, зависит от того, из какого вещества оно состоит, т. е. от рода вещества.*

Итак, ***количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела (или выделяемое при остывании), зависит от массы этого тела, от изменения его температуры и рода вещества.***

Количество теплоты обозначают буквой Q. Как и всякий другой вид энергии, количество теплоты измеряют в *джоулях* (**Дж**) или в *килоджоулях* (**кДж**).

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж}.$$

Однако измерять количество теплоты учёные стали задолго до того, как в физике появилось понятие энергии. Тогда была установлена особая единица для измерения количества теплоты — *калория* (**кал**) или *килокалория*

(ккал). (Калория — от лат. *калор* — тепло, жар.)

$$1\ \text{ккал} = 1000\ \text{кал}.$$

Калория — это количество теплоты, которое необходимо для нагревания 1 г *воды на* 1°С.

$$1\ \text{кал} = 4{,}19\ \text{Дж} \approx 4{,}2\ \text{Дж}.$$
$$1\ \text{ккал} = 4190\ \text{Дж} \approx 4200\ \text{Дж} \approx 4{,}2\ \text{кДж}.$$

? Вопросы 1. Что такое количество теплоты? 2. Как зависит количество теплоты от изменения температуры тела? 3. Почему нельзя только по изменению температуры тела судить о полученном им количестве теплоты? 4. Как зависит количество теплоты от массы тела? 5. Опишите опыт, показывающий, что количество теплоты зависит от рода вещества, из которого состоит тело. 6. Какими единицами измеряют внутреннюю энергию и количество теплоты?



УПРАЖНЕНИЕ 6

1. Утюг нагрет до 80 °С, а батарея отопления — до 40 °С. Можно ли утверждать, что утюг, остывая до комнатной температуры, передаст окружающей среде большее количество теплоты?
2. Какое тело отдаст большее количество теплоты: ртуть в термометре или ртуть в бутыли объёмом 0,5 л при понижении их температуры на 2 °С?

§ 8 УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ

Мы узнали, от каких величин зависит количество теплоты и каковы единицы его измерения. Нам известно, что для нагревания тел одинаковой массы, взятых при одинаковой температуре, на одну и ту же величину требуется разное количество теплоты. Так, для нагревания 1 кг воды на 1 °С требуется количество теплоты, равное 4200 Дж. Если нагревать 1 кг серебра на 1 °С, то потребуется 250 Дж.

Физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать телу массой 1 кг для того, чтобы его температура изменилась на 1 °С, называется удельной теплоёмкостью вещества.

Удельная теплоёмкость обозначается буквой c и измеряется в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$.

Так, например, удельная теплоёмкость цинка равна 400 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$. Это означает, что для нагревания цинка массой 1 кг на 1 °C необходимо количество теплоты, равное 400 Дж. При охлаждении цинка массой 1 кг на 1 °C выделится количество теплоты, равное 400 Дж. Это означает, что если меняется температура цинка массой 1 кг на 1 °C, то он или поглощает, или выделяет количество теплоты, равное 400 Дж.

Таблица 1. Удельная теплоёмкость некоторых веществ

Вещество	c, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$	**Вещество**	c, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$	**Вещество**	c, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$
Золото	130	Железо	460	Масло подсолнечное	1700
Ртуть	140	Сталь	500		
Свинец	140	Чугун	540	Лёд	2100
Олово	230	Графит	750	Керосин	2100
Серебро	250	Стекло лабораторное	840	Эфир	2350
Медь	400			Дерево (дуб)	2400
Цинк	400	Кирпич	880	Спирт	2500
Латунь	400	Алюминий	920	Вода	4200

Следует помнить, что *удельная теплоёмкость вещества, находящегося в различных агрегатных состояниях, различна.*

Например, ртуть в жидком состоянии имеет удельную теплоёмкость, равную 138 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$, а в твёрдом состоянии — 129 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$ (при –120 °C).

Удельная теплоёмкость воды самая большая — 4200 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$. В связи с этим вода в морях и океанах, нагреваясь летом, поглощает большое количество теплоты. Поэтому в районах,

расположенных вблизи водоёмов, летом не бывает очень жарко, а зимой очень холодно. Это связано с тем, что зимой вода остывает и отдаёт большое количество теплоты. Из-за высокой удельной теплоёмкости воду широко используют в технике и быту. Например, в отопительных системах домов, при охлаждении деталей во время их обработки на станках, в медицине (в грелках) и др.

? Вопросы 1. Что называется удельной теплоёмкостью вещества? 2. Что является единицей удельной теплоёмкости вещества? 3. Почему близость водоёмов влияет на температуру воздуха? 4. Почему чаще всего вода используется в системе отопления, для охлаждения двигателей?

УПРАЖНЕНИЕ 7

1. Удельная теплоёмкость свинца равна 140 $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$. Что это означает?
2. Для нагревания 1 кг золота на 1 °С требуется 130 Дж. Какова удельная теплоёмкость золота?

ЗАДАНИЕ

- В таблице 1 найдите жидкости. Какая из жидкостей при одинаковых условиях будет нагреваться быстрее?

§ 9 РАСЧЁТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ ТЕЛА ИЛИ ВЫДЕЛЯЕМОГО ИМ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

На практике часто пользуются тепловыми расчётами. Например, при строительстве зданий необходимо учитывать, какое количество теплоты должна отдавать зданию вся система отопления. Следует также знать, какое количество теплоты будет уходить в окружающее пространство через окна, стены, двери.

Покажем на примерах, как нужно вести простейшие расчёты.

Итак, необходимо узнать, какое количество теплоты получила при нагревании медная де-

таль. Её масса 2 кг, а температура увеличивалась от 20 до 280 °C. Вначале по таблице 1 определим удельную теплоёмкость меди $\left(c_м = 400\ \frac{Дж}{кг \cdot °C}\right)$. Это означает, что на нагревание детали из меди массой 1 кг на 1 °C потребуется 400 Дж. Для нагревания медной детали массой 2 кг на 1 °C необходимо в 2 раза большее количество теплоты — 800 Дж. Температуру медной детали необходимо увеличить не на 1 °C, а на 260 °C, значит, потребуется в 260 раз большее количество теплоты, т. е. 800 Дж · 260 = 208 000 Дж.

$Q = cm(t_2 - t_1)$

Чтобы рассчитать количество теплоты, необходимое для нагревания тела или выделяемое им при охлаждении, следует удельную теплоёмкость умножить на массу тела и на разность между конечной и начальной температурами.

Если обозначить массу m, разность между конечной (t_2) и начальной (t_1) температурами — $t_2 - t_1$, получим формулу для расчёта количества теплоты:

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$


Нагревание воды в котелке

Пример 1. В железный котёл массой 5 кг налита вода массой 10 кг. Какое количество теплоты нужно передать котлу с водой для изменения их температуры от 10 до 100 °C?

При решении задачи нужно учесть, что оба тела — и котёл, и вода — будут нагреваться вместе. Между ними происходит теплообмен. Их температуры можно считать одинаковыми, т. е. температура котла и воды изменяется на 100 °C – 10 °C = 90 °C. Но количества теплоты, полученные котлом и водой, не будут одинаковыми. Ведь их массы и удельные теплоёмкости различны.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**Решение:**
$m_1 = 5$ кг $c_1 = 460\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$ $m_2 = 10$ кг $c_2 = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$ $t_1 = 10\ {}^\circ\text{C}$ $t_2 = 100\ {}^\circ\text{C}$ ——— Q — ?	Количество теплоты, полученное котлом, равно: $Q_1 = c_1 m_1 (t_2 - t_1)$, $Q_1 = 460\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 5\ \text{кг} \cdot 90\ {}^\circ\text{C} \approx$ $\approx 207\,000$ Дж $= 207$ кДж. Количество теплоты, полученное водой, равно: $Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t_1)$,

$Q_2 = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 10\ \text{кг} \cdot 90\ {}^\circ\text{C} \approx 3\,780\,000$ Дж $=$
$= 3780$ кДж.

На нагревание и котла, и воды израсходовано количество теплоты: $Q = Q_1 + Q_2$,

$Q = 207$ кДж $+ 3780$ кДж $= 3987$ кДж.

Ответ: $Q = 3987$ кДж.

Пример 2. Смешали воду массой 0,8 кг, имеющую температуру 25 °С, и воду при температуре 100 °С массой 0,2 кг. Температуру полученной смеси измерили, и она оказалась равной 40 °С. Вычислите, какое количество теплоты отдала горячая вода при остывании и получила холодная вода при нагревании. Сравните эти количества теплоты.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**Решение:**
$m_1 = 0{,}2$ кг $m_2 = 0{,}8$ кг $c_1 = c_2 = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$ $t_1 = 25\ {}^\circ\text{C}$ $t_2 = 100\ {}^\circ\text{C}$ $t = 40\ {}^\circ\text{C}$ ——— Q_1 — ? Q_2 — ?	Горячая вода остыла от 100 до 40 °С, при этом она отдала количество теплоты: $Q_1 = c_1 m_1 (t_2 - t)$, $Q_1 = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 0{,}2\ \text{кг} \times$ $\times (100\ {}^\circ\text{C} - 40\ {}^\circ\text{C}) =$ $= 50\,400$ Дж. Холодная вода нагрелась с 25 до 40 °С и получила количество теплоты:

$Q_2 = c_2 m_2 (t - t_1)$,

$$Q_2 = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}} \cdot 0{,}8\ \text{кг} \cdot (40\ {}^\circ\text{C} - 25\ {}^\circ\text{C}) = 50\,400\ \text{Дж}.$$

Ответ: $Q_1 = 50\,400$ Дж, $Q_2 = 50\,400$ Дж.

Мы видим, что *количество теплоты, отданное горячей водой, и количество теплоты, полученное холодной водой, равны между собой*. Это не случайный результат. Опыт показывает, что ***если между телами происходит теплообмен, то внутренняя энергия всех нагревающихся тел увеличивается на столько, на сколько уменьшается внутренняя энергия остывающих тел.***

При проведении опытов обычно получается, что отданная горячей водой энергия больше энергии, полученной холодной водой. Это объясняется тем, что часть энергии передаётся окружающему воздуху, а часть энергии — сосуду, в котором смешивали воду. Равенство отданной и полученной энергий будет тем точнее, чем меньше потерь энергии допускается в опыте. Если подсчитать и учесть эти потери, то равенство будет точным.

? Вопросы

1. Что нужно знать, чтобы вычислить количество теплоты, полученное телом при нагревании? **2.** Объясните на примере, как рассчитывают количество теплоты, сообщённое телу при его нагревании или выделяющееся при его охлаждении. **3.** Напишите формулу для расчёта количества теплоты. **4.** Какой вывод можно сделать из опыта по смешиванию холодной и горячей воды? Почему на практике эти энергии не равны?

УПРАЖНЕНИЕ 8

1. Какое количество теплоты требуется для нагревания воды массой 0,1 кг на 1 °С?
2. Рассчитайте количество теплоты, необходимое для нагревания: а) чугунного утюга массой 1,5 кг для изменения его температуры на 200 °С; б) алюминиевой ложки массой 50 г от 20 до 90 °С; в) кирпичного камина массой 2 т от 10 до 40 °С.
3. Какое количество теплоты выделилось при остывании воды, объём которой 20 л, если температура изменилась от 100 до 50 °С?

§ 10 ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Известно, что источником энергии, которая используется в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, в быту, является топливо. Это уголь, нефть, торф, дрова, природный газ и др. При сгорании топлива выделяется энергия. Попытаемся выяснить, за счёт чего выделяется при этом энергия.

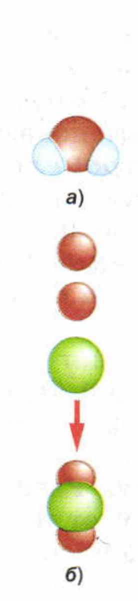


Рис. 16. Строение молекул: *а* — воды; *б* — соединение атома углерода и двух атомов кислорода в молекулу углекислого газа

Вспомним строение молекулы воды (рис. 16, *а*). Она состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Если молекулу воды разделить на атомы, то при этом необходимо преодолеть силы притяжения между атомами, т. е. совершить работу, а значит, затратить энергию. И наоборот, если атомы соединяются в молекулу, энергия выделяется.

Использование топлива основано как раз на явлении выделения энергии при соединении атомов. Так, например, атомы углерода, содержащиеся в топливе, при горении соединяются с двумя атомами кислорода (рис. 16, *б*). При этом образуется молекула оксида углерода — углекислого газа — и выделяется энергия.

При расчёте двигателей инженеру необходимо точно знать, какое количество теплоты может выделить сжигаемое топливо. Для этого надо опытным путём определить, какое количество теплоты выделится при полном сгорании одной и той же массы топлива разных видов.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании топлива массой 1 кг, называется удельной теплотой сгорания топлива.

Удельная теплота сгорания обозначается буквой q. Единицей удельной теплоты сгорания является $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Удельную теплоту сгорания определяют на опыте с помощью довольно сложных приборов.

Результаты опытных данных приведены в таблице 2.

Таблица 2. Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива

Вещество	q, $\frac{Дж}{кг}$	Вещество	q, $\frac{Дж}{кг}$
Порох	$0{,}38 \cdot 10^7$	Древесный уголь	$3{,}4 \cdot 10^7$
Дрова сухие	$1{,}0 \cdot 10^7$	Природный газ	$4{,}4 \cdot 10^7$
Торф	$1{,}4 \cdot 10^7$	Нефть	$4{,}4 \cdot 10^7$
Каменный уголь	$2{,}7 \cdot 10^7$	Бензин	$4{,}6 \cdot 10^7$
Спирт	$2{,}7 \cdot 10^7$	Керосин	$4{,}6 \cdot 10^7$
Антрацит	$3{,}0 \cdot 10^7$	Водород	$12 \cdot 10^7$

$$Q = qm$$

Из этой таблицы видно, что удельная теплота сгорания, например, бензина $4{,}6 \cdot 10^7 \ \frac{Дж}{кг}$. Это значит, что при полном сгорании бензина массой 1 кг выделяется $4{,}6 \cdot 10^7$ Дж энергии.

Общее количество теплоты Q, выделяемое при сгорании m кг топлива, вычисляется по формуле

$$Q = qm.$$



1. Что такое удельная теплота сгорания топлива? **2.** В каких единицах измеряют удельную теплоту сгорания топлива? **3.** Что означает выражение «удельная теплота сгорания топлива равна $1{,}4 \cdot 10^7 \ \frac{Дж}{кг}$»? **4.** Как вычисляют количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива?

УПРАЖНЕНИЕ 9

1. Какое количество теплоты выделяется при полном сгорании древесного угля массой 15 кг; спирта массой 200 г?
2. Сколько теплоты выделится при полном сгорании нефти, масса которой 2,5 т; керосина, объём которого равен 2 л, а плотность 800 $\frac{кг}{м^3}$?
3. При полном сгорании сухих дров выделилось 50 000 кДж энергии. Какая масса дров сгорела?

ЗАДАНИЕ

- Используя таблицу 2, постройте столбчатую диаграмму для удельной теплоты сгорания дров, спирта, нефти, водорода, выбрав масштаб следующим образом: ширина прямоугольника — 1 клетка, высота 2 мм соответствует 10 Дж.

§ 11 ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССАХ


Превращение кинетической энергии мяча в потенциальную

Явления превращения энергии в механических процессах были рассмотрены в § 2. Напомним некоторые из них.

Подбрасывая вверх камень или мяч, мы сообщаем им энергию движения — кинетическую энергию.

Поднявшись до некоторой высоты, предмет останавливается, а затем начинает падать. В момент остановки (в верхней точке) вся кинетическая энергия полностью превращается в потенциальную. При движении тела вниз происходит обратный процесс. Потенциальная энергия превращается в кинетическую.

При этих превращениях полная механическая энергия, т. е. сумма потенциальной и кинетической энергии, остаётся неизменной. Если принять, что потенциальная энергия у поверхности Земли равна нулю, то сумма кинетической и потенциальной энергии тела на любой высоте во время подъёма или падения будет равна

$$E = E_к + E_п.$$

Полная механическая энергия, т. е. сумма потенциальной и кинетической энергии тела, остаётся постоянной, если действуют только силы упругости и тяготения и отсутствуют силы трения.

$$E = E_к + E_п$$

В этом и заключается *закон сохранения механической энергии*.



а)

б)

Использование энергии Солнца:
а — нагревание поверхности Земли;
б — поглощение солнечной энергии растениями и превращение её в химическую энергию

Когда мы изучали падение свинцового шара на свинцовую доску, то наблюдали превращение механической энергии во внутреннюю.

Следовательно, *механическая и внутренняя энергия могут переходить от одного тела к другому.*

Этот вывод справедлив для всех тепловых процессов. При теплопередаче, например, тело более нагретое отдает энергию, а тело менее нагретое получает энергию.

При сгорании топлива в двигателе машины внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию движения.

При переходе энергии от одного тела к другому или при превращении одного вида энергии в другой *энергия сохраняется.*

Примером, подтверждающим сделанный вывод, служит опыт по смешиванию холодной и горячей воды (см. лаб. работу № 1) при условии, что мы не допустим перехода теплоты к другим телам. В опыте количество теплоты, отданное горячей водой, равнялось количеству теплоты, полученному холодной водой.

Изучение явлений превращения одного вида энергии в другой привело к открытию одного из основных законов природы — ***закона сохранения и превращения энергии.***

Во всех явлениях, происходящих в природе, энергия не возникает и не исчезает. Она только превращается из одного вида в другой, при этом её значение сохраняется.



Освещение улиц лампами на солнечных батареях

Исследуя явления природы, учёные всегда руководствуются этим законом.

Теперь мы можем сказать, что энергия не может появиться у тела, если оно не получило её от другого тела. Для иллюстрации этого закона природы рассмотрим несколько примеров.

Солнечные лучи несут определённый запас энергии. Падая на поверхность Земли, лучи нагревают её. Энергия солнечных лучей при этом превращается во внутреннюю энергию почвы и тел, находящихся на поверхности Зем-


Газонный фонарь на солнечных батарейках

ли. Воздушные массы, нагревшись от поверхности Земли, приходят в движение — появляется ветер. Происходит превращение внутренней энергии, которой обладают воздушные массы, в механическую энергию.

Часть энергии солнечных лучей поглощается на поверхности земли листьями растений. При этом в растениях происходят сложные химические реакции. В результате образуются органические соединения, т. е. происходит превращение энергии, переносимой солнечными лучами, в химическую энергию.

Превращение внутриатомной энергии в другие виды энергии находит применение на практике. Атомную энергию, например, преобразуют в электрическую на атомных электростанциях (АЭС).

Закон сохранения энергии представляет научную основу для разнообразных расчётов во всех областях науки и техники. Следует учитывать, что полностью внутреннюю энергию нельзя превратить в механическую.



1. Приведите примеры превращения механической энергии во внутреннюю и внутренней в механическую. 2. Приведите примеры перехода энергии от одного тела к другому. 3. Какой опыт показывает, что при переходе внутренней энергии от одного тела к другому её значение сохраняется? 4. В чём состоит закон сохранения энергии? 5. Какое значение имеет закон сохранения энергии в науке и технике?

УПРАЖНЕНИЕ 10

1. Молот копра при падении ударяет о сваю и забивает её в землю. Какие превращения и переходы энергии при этом происходят? (Следует учесть, что свая и почва нагреваются при ударе.)
2. Какие превращения кинетической энергии автомобиля происходят при торможении?
3. Два одинаковых стальных шарика падают с одинаковой высоты. Один падает на стальную плиту и отскакивает вверх, другой попадает в песок и застревает в нём. Какие переходы энергии происходят в каждом случае?
4. Опишите все превращения и переходы энергии, которые происходят при натирании трубки с эфиром, закрытой пробкой (см. рис. 3).

Это любопытно...

Использование энергии Солнца на Земле

Источником большей части энергии, которой пользуется человек, является Солнце. За счёт солнечной энергии поддерживается средняя годовая температура на Земле около 15 °С. Поток тепла и света, идущий от Солнца, обусловливает саму возможность жизни на нашей планете. Мощность солнечного излучения, падающего на всю земную поверхность, так велика, что для её замены понадобилось бы около 30 миллионов мощных электростанций.

Стоит только представить себе, что произошло бы на Земле, если бы солнце каждый день не освещало Землю! Мы знаем такие места на Земле, которые слабо нагреваются солнцем. Это Арктика и Антарктика. Там лютый холод, вечный лёд и снег.

Великий непрерывный круговорот воды на Земле совершается за счёт энергии Солнца: вода морей, озёр и рек испаряется, пар, поднявшись вверх, сгущается в облака, переносится ветром в разные места Земли и выпадает в виде осадков. Эти осадки питают реки, которые снова несут свои воды в моря и океаны.

Вследствие неравномерного нагрева поверхности Земли Солнцем возникают ветры. Под действием ветров и приносимой ими влаги постепенно разрушаются огромные горные массивы. Энергия рек используется человеком для получения электроэнергии, передвижения судов, энергия ветра — в ветряных двигателях.

Всё, что происходит на Солнце, самым непосредственным образом сказывается на Земле. Вся жизнь на Земле — жизнь растений и животных — зависит от Солнца. В растениях происходит превращение солнечной энергии в химическую энергию. Чтобы понять это, обратимся к опыту.

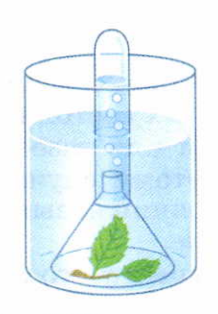


Рис. 17. Превращение солнечной энергии в химическую энергию

Перевёрнутая воронка помещена в стакан с водой. В воронке находится лист растения, окружённый воздухом. Если растение освещать солнцем, то можно обнаружить, что из воронки будет выходить кислород (рис. 17). Как объяснить наблюдаемое явление?

В зелёный лист растения проникают молекулы оксида углерода (IV), которые всегда находятся в воздухе. В результате химической реакции, в которой участвуют оксид углерода (IV) и вода, содержащаяся в листе, образуются молекулы кислорода и органическое вещество. Кислород выделяется в

окружающий воздух, а органическое вещество, содержащее углерод, остаётся в листе растения.

Но мы знаем, что для разложения молекулы на атомы нужно затратить энергию (§ 10). Откуда берётся эта энергия? Если описанный выше опыт производить, не освещая лист растения солнцем, то химической реакции не произойдёт. Значит, разложение оксида углерода (IV) в зелёном листе растения происходит благодаря солнечной энергии.

Каменный уголь представляет собой окаменевшие в земле остатки лесов, когда-то буйно росших на больших пространствах Земли. Значит, и в нём запасена энергия Солнца. В болотах из отмирающих растений образуются пласты торфа, используемого как топливо.

Энергия животных, питающихся растениями, и энергия человека — всё это преобразованная солнечная энергия.

Всё шире используется преобразование энергии солнечного излучения в электроэнергию. На поверхности космических кораблей устанавливают солнечные батареи, которые улавливают солнечную энергию и при помощи фотоэлектрических преобразователей превращают её в электроэнергию, которая поступает в единую систему электропитания корабля. Общая полезная площадь солнечной батареи достигает нескольких десятков квадратных метров.

В областях нашей страны, где велико число ясных солнечных дней в году, солнечное излучение используют для нагревания воды, получения водяного пара.

Человечество научилось использовать дополнительный источник энергии на Земле — атомную энергию, непосредственно не связанную с Солнцем.

§ 12 АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

В зависимости от условий одно и то же вещество может находиться в различных состояниях, например в твёрдом, жидком или газообразном. Наглядным примером этому служат лёд, вода и водяной пар. Эти состояния называют ***агрегатными состояниями***.

Переход вещества из одного агрегатного состояния в другое широко используют в практике. В металлургии, например, плавят металлы, чтобы получить из них сплавы: чугун,



Агрегатные состояния ртути:
а — твёрдое (сульфид ртути);
б — жидкое;
в — газообразное

сталь, бронзу, латунь и др. Пар, полученный из воды при её нагревании, используют на электростанциях в паровых турбинах и для многих других технических целей. Сжиженными газами пользуются в холодильных установках.

В природе изменение агрегатных состояний происходит в широких масштабах. С поверхности океанов, морей, озёр и рек испаряется вода, а при охлаждении водяного пара образуются облака, роса, туман или снег. Реки и озёра зимой замерзают, а весной снег и лёд тают.

Для понимания процессов, происходящих в природе, и умения управлять многими из них необходимо знать, когда, при каких условиях вещество находится в том или ином агрегатном состоянии. Следует изучить свойства каждого из этих состояний, а также знать, при каких условиях происходит переход вещества из одного агрегатного состояния в другое.

Мы уже знаем, что *молекулы одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состоянии ничем не отличаются друг от друга*. То или иное агрегатное состояние вещества определяется расположением, характером движения и взаимодействия молекул.

В газах при атмосферном давлении расстояния между молекулами много больше размера самих молекул. В связи с этим притяжение молекул газа мало. Средняя кинетическая энергия молекул газа вполне достаточна, чтобы совершить работу по преодолению сил молекулярного притяжения. Поэтому, если газу не мешают стенки сосуда, его молекулы разлетаются.

В жидкостях и твёрдых телах, плотность которых во много раз больше плотности газа, молекулы расположены ближе друг к другу. Средняя кинетическая энергия их уже недостаточна для того, чтобы совершить работу по преодолению сил молекулярного притяжения.

Поэтому молекулы в жидкостях и особенно в твёрдых телах не могут далеко удаляться друг от друга.

? Вопросы **1.** В каких агрегатных состояниях может находиться одно и то же вещество? **2.** Какое практическое значение имеют явления перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое? **3.** Чем определяется то или иное агрегатное состояние вещества? **4.** Каковы особенности молекулярного строения газов, жидкостей и твёрдых тел?

§ 13 ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

Передавая телу энергию, можно перевести его из твёрдого состояния в жидкое (например, расплавить лёд), а из жидкого — в газообразное (превратить воду в пар).

Если газ отдаёт энергию, то может превратиться в жидкость, а жидкость, отдавая энергию, может превратиться в твёрдое тело.

Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называют плавлением.

Чтобы расплавить тело, нужно сначала нагреть его до определённой температуры.

Температуру, при которой вещество плавится, называют температурой плавления вещества.


Плавление олова в стальной ложке

Одни кристаллические тела плавятся при низкой температуре, другие — при высокой. Лёд, например, можно расплавить, внеся его в комнату. Кусок олова или свинца — в стальной ложке, нагревая её на спиртовке. Железо плавят в специальных печах, где достигается высокая температура.

Из таблицы 3 видно, в каких широких пределах лежат температуры плавления различных веществ.

Таблица 3. Температура плавления некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$t_{пл}$, °C	Вещество	$t_{пл}$, °C	Вещество	$t_{пл}$, °C
Водород	–259	Натрий	98	Золото	1064
Кислород	–219	Олово	232	Медь	1085
Азот	–210	Свинец	327	Чугун	1200
Спирт	–114	Янтарь	360	Сталь	1500
Ртуть	–39	Цинк	420	Железо	1539
Лёд	0	Алюминий	660	Платина	1772
Цезий	29	Серебро	962	Осмий	3045
Калий	63	Латунь	1000	Вольфрам	3387

Например, температура плавления металла цезия 29 °C, т. е. его можно расплавить в тёплой воде.

Переход вещества из жидкого состояния в твёрдое называют отвердеванием или кристаллизацией.

Чтобы началась кристаллизация расплавленного тела, оно должно остыть до определённой температуры.

Температура, при которой вещество отвердевает (кристаллизуется), называют температурой отвердевания или кристаллизации.

Опыт показывает, что *вещества отвердевают при той же температуре, при которой плавятся*. Например, вода кристаллизуется (а лёд плавится) при 0 °C, чистое железо плавится и кристаллизуется при температуре 1539 °C.



1. Какой процесс называют плавлением? 2. Какой процесс называют отвердеванием? 3. Как называют температуру, при которой вещество плавится и отвердевает?

УПРАЖНЕНИЕ 11

1. Будет ли плавиться свинец, если его бросить в расплавленное олово? Ответ обоснуйте.
2. Можно ли в алюминиевом сосуде расплавить цинк? Ответ обоснуйте.
3. Почему для измерения температуры наружного воздуха в холодных районах применяют термометры со спиртом, а не с ртутью?

ЗАДАНИЕ

1. Какой из металлов, приведённых в таблице 3, самый легкоплавкий; самый тугоплавкий?
2. Сравните температуры плавления твёрдой ртути и твёрдого спирта. У какого из этих веществ температура плавления выше?

§ 14 ГРАФИК ПЛАВЛЕНИЯ И ОТВЕРДЕВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

Плавление кристаллического тела — сложный процесс. Для его изучения рассмотрим график зависимости температуры кристаллического тела (льда) от времени его нагревания (рис. 18). На нём по горизонтальной оси отложено время, а по вертикальной — температура льда.

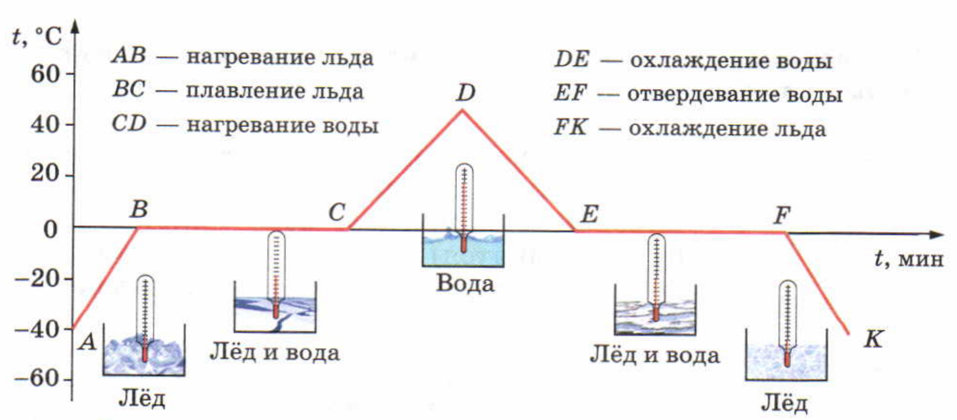


Рис. 18. График зависимости температуры льда от времени нагревания

Из графика видно, что наблюдение за процессом началось с момента, когда температура льда была –40 °C. При дальнейшем нагревании температура льда росла. На графике это участок *AB*. Увеличение температуры происходило до 0 °C — температуры плавления льда. При 0 °C лёд начал плавиться, а его температура перестала расти. *В течение всего времени плавления температура льда не менялась, хотя горелка продолжала гореть.* Этому процессу соответствует горизонтальный участок графика — *BC*.

После того как *весь* лёд расплавился и превратился в воду, температура снова стала подниматься (участок *CD*). Когда температура достигла +40 °C (точка *D*), горелка была погашена. Как видно из графика, температура воды после этого начала снижаться (участок *DE*). Вода стала охлаждаться. Когда её температура упала до 0 °C, начался процесс отвердевания воды — её кристаллизация, и *пока вся вода не отвердеет, температура её не изменится* (участок *EF*). Лишь после этого температура твёрдой воды — льда стала уменьшаться (участок *FK*).

? Вопросы

1. Пользуясь графиком (см. рис. 18) и текстом, относящимся к нему, объясните, что происходит с водой в отрезки времени, соответствующие каждому из участков графика. **2.** Как по графику можно судить об изменении температуры вещества при нагревании и охлаждении? **3.** Какие участки графика соответствуют плавлению и отвердеванию льда? Почему эти участки параллельны оси времени?

ЗАДАНИЕ

- Начертите график плавления меди. По вертикали отложите температуру (1 клетка — 20 °C), а по горизонтали — время (1 клетка — 10 мин). Начальная температура меди равна 1000 °C, время нагревания до температуры плавления 20 мин, время перехода меди в жидкое состояние 30 мин.

Это любопытно...

Аморфные тела. Плавление аморфных тел

Существует особый вид тел, который принято также называть твёрдыми телами. Это *аморфные тела*. В естественных условиях они не обладают правильной геометрической формой.

К аморфным телам относятся: твёрдая смола (вар, канифоль), стекло, сургуч, эбонит, различные пластмассы.

По многим физическим свойствам, да и по внутреннему строению аморфные тела стоят ближе к жидкостям, чем к твёрдым телам.

Кусок твёрдой смолы от удара рассыпается на осколки, т. е. ведёт себя как хрупкое тело, но вместе с тем обнаруживает и свойства, присущие жидкостям. Твёрдые куски смолы, например, медленно растекаются по горизонтальной поверхности, а находясь в сосуде, со временем принимают его форму. По описанным свойствам твёрдую смолу можно рассматривать как очень густую и вязкую жидкость.

Стекло обладает значительной прочностью и твёрдостью, т. е. свойствами, характерными для твёрдого тела. Однако стекло, хотя и очень медленно, способно течь, как смола.

В отличие от кристаллических тел, в аморфных телах атомы или молекулы расположены беспорядочно, как в жидкостях.

Кристаллические твёрдые тела, как мы видели (см. рис. 18), плавятся и отвердевают при одной и той же строго определённой для каждого вещества температуре. Иначе ведут себя аморфные вещества, например смола, воск, стекло. При нагревании они постепенно размягчаются, разжижаются и, наконец, превращаются в жидкость. Температура их при этом изменяется непрерывно. При отвердевании аморфных тел температура их также понижается непрерывно.

В аморфных твёрдых телах, как и в жидкостях, молекулы могут свободно перемещаться друг относительно друга. При нагревании аморфного тела скорость движения молекул увеличивается, увеличиваются расстояния между молекулами, а связи между ними ослабевают. В результате аморфное тело размягчается, становится текучим.



Аморфное тело — смола

Зная строение аморфных тел, можно создавать материалы с заданными свойствами. В последние годы аморфные тела находят широкое применение при производстве считывающих головок аудио- и видеомагнитофонов, устройств записи и хранения информации в компьютерной технике, магнитных экранов и др.

§ 15 УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ



Переход металла в жидкое состояние при нагревании его до температуры плавления

В предыдущем параграфе мы рассматривали график плавления и отвердевания льда. Из графика видно, что, пока лёд плавится, температура его не меняется (см. рис. 18). И лишь после того, как весь лёд расплавится, температура образовавшейся жидкости начинает повышаться. Но ведь и во время процесса плавления лёд получает энергию от сгорающего в нагревателе топлива. А из закона сохранения энергии следует, что она не может исчезнуть. На что же расходуется энергия топлива во время плавления?

Мы знаем, что в кристаллах молекулы (или атомы) расположены в строгом порядке. Однако и в кристаллах они находятся в тепловом движении (колеблются). При нагревании тела средняя скорость движения молекул возрастает. Следовательно, возрастает и их средняя кинетическая энергия и температура. На графике это участок *AB* (см. рис. 18). Вследствие этого *размах колебаний* молекул (или атомов) *увеличивается*. Когда тело нагреется до температуры плавления, то *нарушится порядок в расположении частиц в кристаллах*. Кристаллы теряют свою форму. Вещество плавится, переходя из твёрдого состояния в жидкое.

Следовательно, вся энергия, которую получает кристаллическое тело после того, как оно уже нагрето до температуры плавления, расходуется на разрушение кристалла. В связи с этим температура тела перестаёт повышаться. На графике (см. рис. 18) это участок *BC*.

Опыты показывают, что для превращения различных кристаллических веществ одной и той же массы в жидкость при температуре плавления требуется разное количество теплоты.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо сообщить кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкое состояние, называется удельной теплотой плавления.

Удельную теплоту плавления обозначают λ (греч. буква «лямбда»). Её единица — **1** $\frac{\textbf{Дж}}{\textbf{кг}}$.

Определяют удельную теплоту плавления на опыте. Так, было установлено, что удельная теплота плавления льда равна $3{,}4 \cdot 10^5\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Это означает, что для превращения куска льда массой 1 кг, взятого при 0 °С, в воду такой же температуры требуется затратить $3{,}4 \cdot 10^5$ Дж энергии. А чтобы расплавить брусок из свинца массой 1 кг, взятого при его температуре плавления, потребуется затратить $2{,}5 \cdot 10^4$ Дж энергии.

Следовательно, *при температуре плавления внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в твёрдом состоянии.*

$$Q = \lambda m$$

Чтобы вычислить количество теплоты Q, необходимое для плавления кристаллического тела массой m, взятого при его температуре плавления и нормальном атмосферном давлении, нужно удельную теплоту плавления λ умножить на массу тела m:

$$Q = \lambda m.$$

Из этой формулы можно определить, что

$$\lambda = \frac{Q}{m}, \quad m = \frac{Q}{\lambda}.$$

$$\lambda = \frac{Q}{m}$$

Опыты показывают, что *при отвердевании кристаллического вещества выделяется точно такое же количество теплоты, которое поглощается при его плавлении.* Так, при отвердевании воды массой 1 кг при температуре 0 °С выделяется количество теплоты, равное $3{,}4 \cdot 10^5$ Дж. Точно такое же количество теплоты требуется и для плавления льда массой 1 кг при температуре 0 °С.

$$m = \frac{Q}{\lambda}$$

При отвердевании вещества всё происходит в обратном порядке. *Скорость, а значит, и средняя кинетическая энергия молекул в ох-*


Превращение льда в воду

лаждённом расплавленном веществе уменьшаются. Силы притяжения теперь могут удерживать медленно движущиеся молекулы друг около друга. Вследствие этого *расположение частиц становится упорядоченным* — образуется кристалл. Выделяющаяся при кристаллизации энергия расходуется на поддержание постоянной температуры. На графике это участок EF (см. рис. 18).

Кристаллизация облегчается, если в жидкости с самого начала присутствуют какие-либо посторонние частицы, например пылинки. Они становятся центрами кристаллизации. В обычных условиях в жидкости имеется множество центров кристаллизации, около которых и происходит образование кристалликов.

Таблица 4. Удельная теплота плавления некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	λ, $\frac{Дж}{кг}$	Вещество	λ, $\frac{Дж}{кг}$
Алюминий	$3{,}9 \cdot 10^5$	Сталь	$0{,}84 \cdot 10^5$
Лёд	$3{,}4 \cdot 10^5$	Золото	$0{,}67 \cdot 10^5$
Железо	$2{,}7 \cdot 10^5$	Водород	$0{,}59 \cdot 10^5$
Медь	$2{,}1 \cdot 10^5$	Олово	$0{,}59 \cdot 10^5$
Парафин	$1{,}5 \cdot 10^5$	Свинец	$0{,}25 \cdot 10^5$
Спирт	$1{,}1 \cdot 10^5$	Кислород	$0{,}14 \cdot 10^5$
Серебро	$0{,}87 \cdot 10^5$	Ртуть	$0{,}12 \cdot 10^5$

При кристаллизации происходит выделение энергии и передача её окружающим телам.

Количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации тела массой m, определяется также по формуле

$$Q = \lambda m.$$

Внутренняя энергия тела при этом уменьшается.

Пример. Для приготовления чая турист положил в котелок лёд массой 2 кг, имеющий температуру 0 °С. Какое количество теплоты необходимо для превращения этого льда в кипяток при температуре 100 °С? Энергию, израсходованную на нагревание котелка, не учитывать.


Нагревание льда в котелке

Какое количество теплоты понадобилось бы, если вместо льда турист взял из проруби воду той же массы при той же температуре?

Запишем условие задачи и решим её.

Нагревание льда в котелке

Дано:

$m = 2$ кг

$t_1 = 0$ °С

$t_2 = 100$ °С

$\lambda = 3{,}4 \cdot 10^5\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

$c = 4{,}2 \cdot 10^3\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{С}}$

Q — ?

Решение:

Лёд прежде всего должен расплавиться, а для этого потребуется количество теплоты:

$Q_1 = \lambda m,$

$Q_1 = 3{,}4 \cdot 10^5\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 2\ \text{кг} = 6{,}8 \cdot 10^5$ Дж.

Для нагревания полученной изо льда воды от 0 до 100 °С потребуется количество теплоты:

$Q_2 = cm(t_2 - t_1),$

$Q_2 = 4{,}2 \cdot 10^3\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{С}} \cdot 2\ \text{кг}\ (100\ °\text{С} - 0\ °\text{С}) = 8{,}4 \cdot 10^5$ Дж.

Общее количество теплоты:

$Q = Q_1 + Q_2,$

$Q = 6{,}8 \cdot 10^5\ \text{Дж} + 8{,}4 \cdot 10^5\ \text{Дж} = 15{,}2 \cdot 10^5$ Дж.

Если бы вместо льда была взята вода массой 2 кг при температуре 0 °С, то понадобилось бы количество теплоты, необходимое только для её нагревания от 0 до 100 °С, т. е. $Q_2 = 8{,}4 \cdot 10^5$ Дж.

Ответ: $Q = 15{,}2 \cdot 10^5$ Дж.



1. Как объяснить процесс плавления тела на основе учения о строении вещества? 2. На что расходуется энергия топлива при плавлении кристаллического тела, нагретого до температуры плавления?

3. Что называется удельной теплотой плавления? 4. Как объяснить процесс отвердевания на основе учения о строении вещества? 5. Как вычисляют количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела, взятого при температуре плавления? 6. Как вычислить количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации тела, имеющего температуру плавления?

УПРАЖНЕНИЕ 12

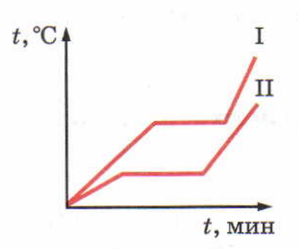


Рис. 19

1. На рисунке 19 изображены графики зависимости температуры от времени двух тел одинаковой массы. У какого из тел выше температура плавления? У какого тела больше удельная теплота плавления? Одинаковы ли удельные теплоёмкости тел?
2. Тающий лёд принесли в помещение, температура которого 0 °C. Будет ли лёд в этом помещении продолжать таять?
3. В ведре с водой плавают куски льда. Общая температура воды и льда 0 °C. Будет ли лёд таять или вода замерзать? От чего это зависит?
4. Сколько энергии нужно затратить, чтобы расплавить лёд массой 4 кг при температуре 0 °C?
5. Сколько энергии требуется затратить, чтобы расплавить свинец массой 20 кг при температуре плавления? Сколько энергии понадобится для этого, если начальная температура свинца 27 °C?

ЗАДАНИЕ

1. Поставьте на плиту две одинаковые жестяные банки. В одну налейте воду массой 0,5 кг, в другую положите несколько кубиков льда той же массы. Заметьте, сколько времени потребуется, чтобы вода в обеих банках закипела. Напишите краткий отчёт о вашем опыте и объясните его результаты.
2. Прочитайте параграф «Аморфные тела. Плавление аморфных тел». Подготовьте по нему доклад.

§ 16 ИСПАРЕНИЕ. НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР

Из повседневных наблюдений известно, что количество воды, эфира, бензина и другой жидкости, которая находится в открытом со-

суде, постепенно уменьшается. На самом деле жидкость не может исчезнуть бесследно, она превращается в пар.

Явление превращения жидкости в пар называется парообразованием.

Существует два способа перехода жидкости в газообразное состояние: *испарение* и *кипение*.

Парообразование, происходящее с поверхности жидкости, называется испарением.

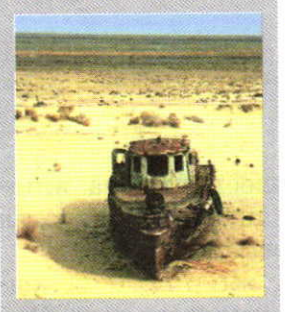
Мы знаем, что молекулы жидкости непрерывно движутся с разными скоростями. Если какая-нибудь достаточно «быстрая» молекула окажется у поверхности жидкости, то она может преодолеть притяжение соседних молекул и вылететь из жидкости. Вылетевшие с поверхности жидкости молекулы образуют над ней пар. У оставшихся молекул жидкости при соударениях меняются скорости. Некоторые из молекул приобретают при этом скорость, достаточную для того, чтобы, оказавшись у поверхности, вылететь из жидкости. Этот процесс продолжается, поэтому жидкость испаряется постепенно.

Скорость испарения зависит от нескольких причин.

Если листок бумаги смочить в одном месте эфиром, а в другом водой, то мы заметим, что эфир испарится значительно быстрее, чем вода. Значит, *скорость испарения зависит от рода жидкости*. Быстрее испаряется та жидкость, молекулы которой притягиваются друг к другу с меньшей силой. Ведь в этом случае преодолеть притяжение и вылететь из жидкости может большее число молекул.

Так как некоторое число быстро движущихся молекул всегда имеется в жидкости, то


Испарение воды


Обмеление Аральского моря в результате потери воды при испарении и резком понижении притока внешних вод

испарение должно происходить при любой температуре. Наблюдения подтверждают это. Например, лужи, образовавшиеся после дождя, высыхают и летом в жару, и осенью, когда уже холодно. Но летом они высыхают быстрее. Дело в том, что чем выше температура жидкости, тем больше в ней быстро движущихся молекул. Они способны преодолеть силы притяжения окружающих молекул и вылететь с поверхности жидкости.

Поэтому *испарение происходит тем быстрее, чем выше температура жидкости.*

Если в узкий и широкий сосуды налить по одинаковому объёму воды, то можно заметить, что в широком сосуде вода испарится значительно быстрее. Например, вода, налитая в блюдце, испаряется быстрее, чем вода, налитая в стакан. Развешанное бельё быстрее высыхает, чем скомканное. Это объясняется тем, что жидкость испаряется с поверхности, и чем больше площадь поверхности жидкости, тем большее число молекул одновременно вылетает в воздух.

Значит, *скорость испарения жидкости зависит от площади её поверхности.*

Одновременно с переходом молекул из жидкости в пар происходит и обратный процесс. Беспорядочно двигаясь над поверхностью жидкости, часть молекул, покинувших её, снова возвращается в жидкость.

Если испарение жидкости происходит в закрытом сосуде, то вначале число молекул, вылетевших из жидкости, будет больше числа молекул, возвратившихся обратно в жидкость. Поэтому плотность пара в сосуде будет постепенно увеличиваться. С увеличением плотности пара увеличится и число молекул, возвращающихся в жидкость. Довольно скоро число молекул, вылетающих из жидкости, станет равным числу молекул пара, возвращающихся обратно в жидкость. С этого момента число молекул пара над жидкостью будет постоянным.

Наступает так называемое *динамическое равновесие* между паром и жидкостью.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным.

Если в пространстве, содержащем пары́ какой-либо жидкости, может происходить дальнейшее испарение этой жидкости, то пар, находящийся в этом пространстве, является *ненасыщенным паром*.

Пар, не находящийся в состоянии равновесия со своей жидкостью, называется ненасыщенным.

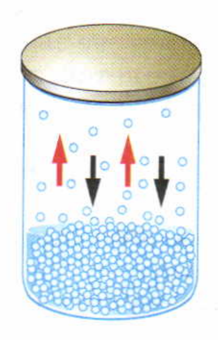


Рис. 20. Испарение жидкости в закрытом сосуде

При динамическом равновесии масса жидкости в закрытом сосуде не изменяется, хотя жидкость продолжает испаряться (рис. 20).

В открытом сосуде масса жидкости вследствие испарения постепенно уменьшается. Это связано с тем, что большинство молекул пара рассеивается в воздухе, не возвращаясь в жидкость. Но небольшая часть их возвращается обратно в жидкость, замедляя тем самым испарение. Поэтому *при ветре*, который уносит молекулы пара, *испарение жидкости происходит быстрее*.

Зная, от каких причин зависит скорость испарения, мы можем объяснить теперь, зачем, например, переливают чай из стакана в блюдце, дуют на горячий суп или кашу, обмахиваются веером.

Наблюдения и опыты показывают, что испаряются и твёрдые тела. Испаряется, например, лёд, поэтому бельё высыхает и на морозе. Испаряется нафталин, поэтому мы чувствуем его запах.



1. Какое явление называют испарением? **2.** Почему испарение жидкости происходит при любой температуре? **3.** От чего зависит скорость испарения жидкости? **4.** Почему испарение происходит тем

быстрее, чем выше температура жидкости? **5.** Как зависит скорость испарения жидкости от площади её поверхности? **6.** Какой пар называется насыщенным? **7.** Какой пар называется ненасыщенным? **8.** Почему испарение жидкости происходит быстрее, если над её поверхностью дует ветер?

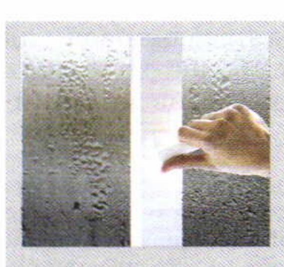
ЗАДАНИЕ

1. На стеклянную пластинку или блюдце с помощью пипетки капните по 1—2 капли воды, масла и духов. Пронаблюдайте, какая капля испарится первой, а какая последней. Дайте объяснение.
2. Возьмите корректирующую жидкость на водной основе. Нанесите её на две буквы, написанные на разных листах. На одну из букв, покрытую корректирующей жидкостью, подуйте. Объясните, почему в последнем случае она высохнет быстрее.

§ 17 ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТИ И ВЫДЕЛЕНИЕ ЕЁ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА

При испарении жидкость покидают наиболее быстрые молекулы, поэтому средняя скорость остальных молекул жидкости становится меньше. Следовательно, и средняя кинетическая энергия остающихся в жидкости молекул уменьшается. Это означает, что *внутренняя энергия испаряющейся жидкости уменьшается*. Поэтому, *если нет притока энергии к жидкости извне, испаряющаяся жидкость охлаждается*.

Охлаждение жидкости при испарении можно наблюдать на опыте. Для этого нужно обмотать шарик термометра ватой (или кусочком материи) и полить её эфиром. Быстро испаряющийся эфир отнимает часть внутренней энергии от шарика термометра, вследствие чего температура последнего понижается. Если эфиром смочить руку, то мы будем ощущать охлаждение.


Конденсация пара на окне

Выходя из воды даже в жаркий день, мы чувствуем, что нам прохладно. Вода, испаря-

ясь с поверхности нашего тела, отнимает от него некоторое количество теплоты.

Однако при испарении воды, налитой в стакан, мы не замечаем понижения её температуры. Чем это объяснить? Дело в том, что испарение в данном случае происходит медленно и температура воды поддерживается постоянной за счёт количества теплоты, поступающего из окружающего воздуха. Значит, чтобы испарение жидкости происходило без изменения её температуры, жидкости необходимо сообщать энергию. Испарение жидкости сопровождается поглощением энергии.

Испарение имеет большое значение в жизни животных. Затруднение испарения нарушает теплоотдачу и может вызвать перегревание тела.

Известно, что одновременно с испарением происходит переход молекул из пара в жидкость.

Явление превращения пара в жидкость называется конденсацией.


Выпадение росы

Термин «конденсация» происходит от латинского слова *конденсаре* — «сгущать».

Конденсация пара сопровождается выделением энергии.

Летним вечером, когда воздух становится холоднее, выпадает роса. Это водяной пар, находившийся в воздухе, при охлаждении конденсируется, и маленькие капельки воды оседают на траве и листьях.

Конденсацией пара объясняется образование облаков. Пары воды, поднимающиеся над землёй, образуют в верхних, более холодных слоях воздуха облака, состоящие из мельчайших капелек воды.

? Вопросы

1. Против каких сил совершают работу молекулы, выходящие из жидкости при испарении? **2.** Как объяснить понижение температуры жидкости при её испарении? **3.** Как можно на опыте показать охлаждение жидкости при испарении? **4.** Как можно объяснить, что при одних и тех же условиях одни жидкости испаряются быстрее, другие — медленнее? **5.** При каких условиях происходит конденсация пара?

6. Какие явления природы объясняются конденсацией пара? Приведите примеры и объясните их.

УПРАЖНЕНИЕ 13

1. В какую погоду скорее просыхают лужи от дождя: в тихую или ветреную; в тёплую или холодную? Как это можно объяснить?
2. Почему горячий чай остывает быстрее, если на него дуют?
3. Выступающий в жару на теле пот охлаждает тело. Почему?
4. Почему в сухом воздухе переносить жару легче, чем во влажном?
5. Чтобы остудить воду в летнюю жару, её наливают в сосуды, изготовленные из слабообожжённой глины, сквозь которую вода медленно просачивается. Вода в таких сосудах холоднее окружающего воздуха. Почему?
6. В блюдце и в стакан налита вода одинаковой массы. Где вода быстрее испарится? Почему?
7. Для чего летом после дождей или полива приствольные круги плодовых деревьев покрывают слоем перегноя, навоза или торфа?

ЗАДАНИЕ

- В два одинаковых блюдца налейте по одинаковому количеству воды (например, по три столовых ложки). Одно блюдце поставьте в тёплое место, а другое — в холодное. Запишите, за какое время испарится вода в том и другом блюдце. Объясните разницу в скорости испарения.

§ 18 КИПЕНИЕ

Рассмотрим второй способ образования пара — *кипение*.

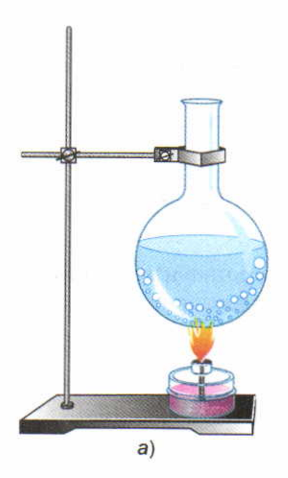
Пронаблюдаем это явление на опыте. Для этого будем нагревать воду в открытом стеклянном сосуде, измеряя её температуру. Прежде всего обратим внимание на то, что с поверхности воды происходит испарение. На это указывает туман, образовавшийся над сосудом.

Это водяной пар смешивается с холодным воздухом и конденсируется в виде маленьких капель. Сам пар, конечно, невидим глазу.

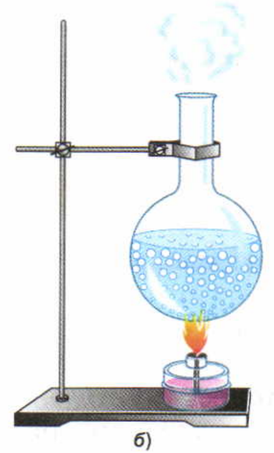


Кипение воды

При дальнейшем повышении температуры мы заметим появление в воде многочисленных мелких пузырьков (рис. 21, *а*). Они постепенно увеличиваются в размерах. Это пузырьки воздуха, который растворён в воде. При нагревании воздух выделяется из воды в виде пузырьков. Эти пузырьки содержат не только воздух, но и водяной пар, так как вода испаряется внутрь этих пузырьков воздуха. Поднимающиеся пузырьки, попадая в верхние, более холодные слои воды, уменьшаются в размерах, так как содержащиеся в них пары конденсируются и под действием силы тяжести они опускаются. Спустившись ниже, в более горячие слои воды, пузырьки начинают снова подниматься к поверхности. Это попеременное увеличение и уменьшение пузырьков в размерах сопровождается характерным шумом, предшествующим закипанию воды. Постепенно вся вода прогревается, пузырьки уже не уменьшаются в размерах. Под действием архимедовой силы они всплывают на поверхность и лопаются (рис. 21, *б*). Находящийся в них насыщенный пар выходит в атмосферу. Шум прекращается, и мы слышим бульканье — вода закипела.



а)



б)

Рис. 21. Нагревание воды

Кипение — это интенсивный переход жидкости в пар, происходящий с образованием пузырьков пара по всему объёму жидкости при определённой температуре.

Следует помнить, что у различных жидкостей температура кипения разная (табл. 5).

В отличие от испарения, которое происходит при любой температуре (см. § 17), кипение от начала до конца происходит при *определённой* и *постоянной* для каждой жидкости температуре. Поэтому, например, при варке пищи нужно уменьшать огонь после того, как вода

закипит. Это даст экономию топлива, а температура воды всё равно сохраняется постоянной во время кипения.

Температуру, при которой жидкость кипит, называют температурой кипения.

Во время кипения температура жидкости не меняется.

Температура кипения жидкости зависит от давления, которое оказывается на поверхность жидкости. При кипении давление насыщенного пара внутри пузырьков превосходит внешнее давление. Если внешнее давление увеличивается, увеличивается и температура кипения. При уменьшении давления уменьшается и температура кипения жидкости.

Вам известно, что давление воздуха уменьшается с увеличением высоты над уровнем моря. Следовательно, с увеличением высоты уменьшается и температура кипения жидкости. Так, в горах вода закипает при t = 90 °C. При низкой температуре кипения невозможно сварить обычное яйцо, так как белок не может свернуться, если температура ниже 100 °C.

Таблица 5. Температура кипения некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$t_{кип}$, °C	Вещество	$t_{кип}$, °C
Водород	–253	Вода	100
Кислород	–183	Ртуть	357
Молоко	100	Свинец	1740
Эфир	35	Медь	2567
Спирт	78	Железо	2750

Некоторые вещества, которые в обычных условиях являются газами, при достаточном охлаждении обращаются в жидкости, кипящие

при очень низкой температуре. Жидкий кислород, например, при атмосферном давлении кипит при температуре –183 °С. Вещества, которые в обычных условиях мы наблюдаем в твёрдом состоянии, обращаются при плавлении в жидкости, кипящие при очень высокой температуре. Например, медь кипит при 2567 °С, а железо — при 2750 °С.

? Вопросы

1. Какие явления наблюдаются в жидкости перед тем, как она начинает кипеть? **2.** Какие силы действуют на пузырёк воздуха, наполненный паром, когда он находится внутри жидкости? **3.** Что называют температурой кипения жидкости?

УПРАЖНЕНИЕ 14

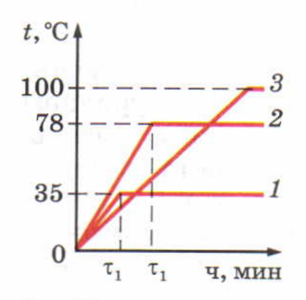


Рис. 22

1. На рисунке 22 показаны графики зависимости температуры от времени при нагревании и кипении воды, спирта и эфира. Массы жидкостей одинаковы, нагреватели одинаковой мощности. Определите, какой жидкости соответствуют графики *1*, *2*, *3*.
2. Нагреется ли вода до более высокой температуры, если её дольше кипятить?
3. Объясните, почему высоко в горах вода закипает при температуре ниже 100 °С.



ЗАДАНИЕ

- Поставьте на плиту кастрюлю, наполненную водой. Опишите, что происходит с водой по мере её закипания. Объясните наблюдаемое явление.

§ 19 ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Окружающий нас атмосферный воздух вследствие непрерывного испарения воды с поверхности водоёмов и растительных покровов всегда содержит в себе водяные пары. Содержание водяного пара в атмосфере характеризует такое понятие, как «влажность». Она имеет



Конденсационный гигрометр

большое значение для многих процессов, происходящих в атмосфере. Влажность воздуха характеризует погоду и климат, влияет на теплообмен организма с окружающей средой, на жизнь животных и растений.

Чем больше водяных паров находится в определённом объёме воздуха, тем ближе пар к состоянию насыщения. С другой стороны, чем выше температура воздуха, тем большее количество водяных паров потребуется для его насыщения.

В зависимости от количества паров, находящихся при данной температуре в атмосфере, воздух бывает различной степени влажности.

Абсолютная влажность ρ показывает, сколько граммов водяного пара содержится в воздухе объёмом 1 $м^3$ при данных условиях, т. е. плотность водяного пара.

Чтобы судить о степени влажности воздуха, важно знать, близок или далёк водяной пар, находящийся в воздухе, от состояния насыщения. Для этого вводят понятие *относительной влажности*.

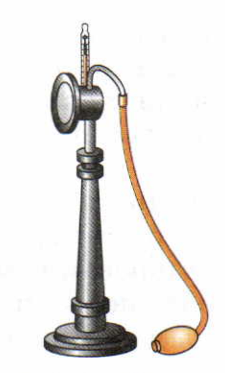
Относительной влажностью воздуха φ называют отношение абсолютной влажности воздуха ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженной в процентах.

Относительную влажность воздуха можно определить по формуле

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%.$$

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$$

Если влажный воздух охлаждать, то при некоторой температуре находящийся в нём пар можно довести до насыщения. При дальнейшем охлаждении водяной пар начнёт конденсироваться в виде росы. Появляется туман, выпадает роса.



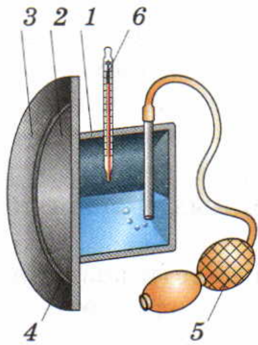


Рис. 23. Внешний вид и устройство конденсационного гигрометра



Рис. 24. Волосной гигрометр

Температура, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется точкой росы.

Точка росы также характеризует влажность воздуха.

Для определения влажности воздуха используют такие приборы, как ***гигрометр*** и ***психрометр***.

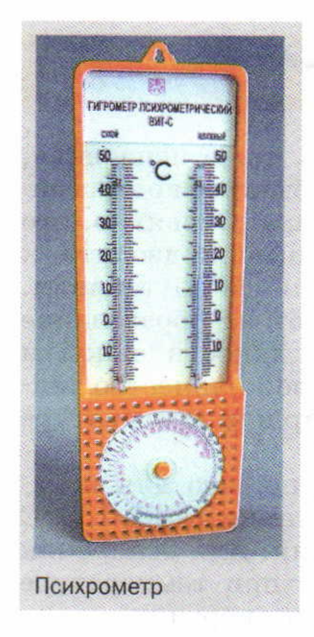
Гигрометры бывают двух видов — *конденсационные* и *волосные*.

С помощью конденсационного гигрометра можно определить абсолютную влажность воздуха по точке росы. Он представляет собой металлическую коробочку *1* (рис. 23). Её передняя стенка *2* хорошо отполирована и окружена также отполированным кольцом *3*. Между стенкой и кольцом расположена теплоизолирующая прокладка *4*. К коробочке подсоединена резиновая груша *5* и вставлен термометр *6*.

Если в коробку налить легко испаряющуюся жидкость (эфир), то, продувая воздух через коробку с помощью груши, можно вызвать сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки. На полированной поверхности появляются капельки росы. По термометру замечают температуру, при которой они появляются. Это и есть точка росы, так как появление росы говорит о том, что пар стал насыщенным. По таблице плотности насыщенного водяного пара и определяют абсолютную влажность воздуха.

Действие *волосного гигрометра* (рис. 24) основано на свойстве человеческого волоса удлиняться при увеличении относительной влажности воздуха. При увеличении влажности воздуха длина волоса увеличивается, а при уменьшении влажности его длина уменьшается. При этом стрелка, перемещаясь по шкале, указывает относительную влажность воздуха.

Прибор для определения влажности воздуха — *психрометр* — состоит из двух термомет-



Психрометр

ров, один из которых обмотан тканью, конец которой опущен в воду. Поскольку вода испаряется, то термометр охлаждается. Чем больше относительная влажность, тем менее интенсивно идёт испарение. Следовательно, разность показаний сухого и влажного термометров будет меньше. По этой разности температур с помощью специальных таблиц и определяют относительную влажность воздуха.

Влажность воздуха меняется в течение суток. Температура воздуха днём выше, чем ночью, поэтому относительная влажность воздуха днём меньше, чем в ночное время.

Определение влажности воздуха необходимо в метеорологии для предсказания погоды, в теплицах и оранжереях для поддержания нужного режима растениям. Работа многих технических устройств и возникновение коррозии зависит от влажности воздуха. Для хранения произведений искусства и книг необходимо поддерживать влажность воздуха на определённом уровне. От влажности воздуха зависит интенсивность испарения влаги с поверхности кожи человека. Чтобы человек чувствовал себя комфортно, влажность воздуха в помещениях должна быть 40—60%.

? Вопросы

1. Что называют относительной влажностью воздуха? **2.** Что называется точкой росы? **3.** Какие приборы используют для определения влажности воздуха? **4.** Как определить точку росы с помощью конденсационного гигрометра? **5.** Как, используя психрометр, можно узнать относительную влажность воздуха?

УПРАЖНЕНИЕ 15

1. Оба термометра в психрометре показывают одинаковую температуру. Какова относительная влажность воздуха?
2. Как изменится разность показаний сухого и влажного термометров в психрометре при понижении температуры воздуха, если абсолютная влажность остаётся без изменения?
3. Почему вечером после жаркого дня появляется роса?

§ 20 УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

Кипение, как мы видели, тоже испарение, только сопровождается оно быстрым образованием и ростом пузырьков пара. Очевидно, что во время кипения необходимо подводить к жидкости определённое количество теплоты. Это количество теплоты идёт на образование пара. Причём различные жидкости одной и той же массы требуют разное количество теплоты для обращения их в пар при температуре кипения.

Опытами было установлено, что для испарения воды массой 1 кг при температуре 100 °С требуется $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии. Для испарения эфира массой 1 кг, взятого при температуре 35 °С, необходимо $0,4 \cdot 10^6$ Дж энергии.

Следовательно, чтобы температура испаряющейся жидкости не изменялась, к жидкости необходимо подводить определённое количество теплоты.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо, чтобы обратить жидкость массой 1 кг в пар без изменения температуры, называется удельной теплотой парообразования.

Удельную теплоту парообразования обозначают буквой L. Её единица — $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Опытами установлено, что удельная теплота парообразования воды при 100 °С равна $2,3 \cdot 10^6\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Иными словами, для превращения воды массой 1 кг в пар при температуре 100 °С требуется $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии. Следовательно, при температуре кипения внутренняя энергия вещества в парообразном состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в жидком состоянии.

Таблица 6. Удельная теплота парообразования некоторых веществ (при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	L, $\frac{Дж}{кг}$	Вещество	L, $\frac{Дж}{кг}$
Вода	$2,3 \cdot 10^6$	Эфир	$0,4 \cdot 10^6$
Аммиак (жидкий)	$1,4 \cdot 10^6$	Ртуть	$0,3 \cdot 10^6$
Спирт	$0,9 \cdot 10^6$	Воздух (жидкий)	$0,2 \cdot 10^6$

Соприкасаясь с холодным предметом, водяной пар конденсируется (рис. 25). При этом выделяется энергия, поглощённая при образовании пара. Точные опыты показывают, что, *конденсируясь, пар отдаёт то количество энергии, которое пошло на его образование.*

Следовательно, при превращении 1 кг водяного пара при температуре 100 °C в воду той же температуры выделяется $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии.

Как видно из сравнения с другими веществами (табл. 6), эта энергия довольно велика.

Освобождающаяся при конденсации пара энергия может быть использована. На крупных тепловых электростанциях отработавшим в турбинах паром нагревают воду.

Нагретую таким образом воду используют для отопления зданий, в банях, прачечных и для других бытовых нужд.

Чтобы вычислить количество теплоты Q, необходимое для превращения в пар жидкости любой массы, взятой при температуре кипения, нужно удельную теплоту парообразования L умножить на массу m:



$$Q = Lm.$$

Из этой формулы можно определить, что

$$m = \frac{Q}{L}, \; L = \frac{Q}{m}.$$

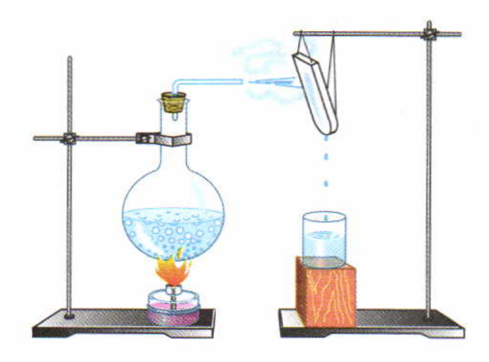


Рис. 25. Конденсация пара

$$Q = Lm$$

Количество теплоты, которое выделяет пар массой m, конденсируясь при температуре кипения, определяется по той же формуле.

Пример. Какое количество энергии требуется для превращения воды массой 2 кг, взятой при температуре 20 °C, в пар?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$m = 2$ кг

$t_1 = 20$ °C

$t_2 = 100$ °C

$c = 4{,}2 \cdot 10^3 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$

$L = 2{,}3 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Q — ?

Решение:

Общее количество израсходованной энергии:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

где Q_1 — энергия, которая необходима для нагревания воды от 20 до 100 °C:

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1),$$

а Q_2 — энергия, которая необходима для превращения воды в пар без изменения её температуры:

$$Q_2 = Lm.$$

$$Q = 4200 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ кг} \, (100 \ {}^\circ\text{C} - 20 \ {}^\circ\text{C}) +$$

$$+ \, 2{,}3 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ кг} \approx 5{,}3 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 5{,}3 \cdot 10^3$ кДж.

? Вопросы

1. На что расходуется энергия, подводимая к жидкости при кипении? 2. Что показывает удельная теплота парообразования? 3. Как можно показать на опыте, что при конденсации пара выделяется энергия? 4. Чему равна энергия, выделяемая водяным паром массой 1 кг при конденсации? 5. Где в технике используют энергию, выделяемую при конденсации водяного пара?



УПРАЖНЕНИЕ 16

1. Как надо понимать, что удельная теплота парообразования воды равна $2{,}3 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$?

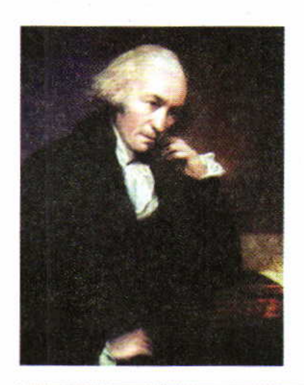
2. Как надо понимать, что удельная теплота конденсации аммиака равна $1{,}4 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$?

3. У какого из приведённых в таблице 6 веществ при обращении из жидкого состояния в пар внутренняя энергия увеличивается больше? Ответ обоснуйте.
4. Какое количество энергии требуется для обращения воды массой 150 г в пар при температуре 100 °С?
5. Какое количество энергии нужно затратить, чтобы воду массой 5 кг, взятую при температуре 0 °С, довести до кипения и испарить её?
6. Какое количество энергии выделит вода массой 2 кг при охлаждении от 100 до 0 °С? Какое количество энергии выделится, если вместо воды взять столько же пара при 100 °С?

ЗАДАНИЕ

1. По таблице 6 определите, у какого из веществ при обращении из жидкого состояния в пар внутренняя энергия увеличивается сильнее. Ответ обоснуйте.
2. Подготовьте доклад на одну из тем (по выбору).
   - Как образуется роса, иней, дождь и снег.
   - Круговорот воды в природе.
   - Литьё металлов.

§ 21 РАБОТА ГАЗА И ПАРА ПРИ РАСШИРЕНИИ



УАТТ ДЖЕЙМС
(1736—1819)
Шотландский инженер-изобретатель, создатель универсальной паровой машины.

Мы уже говорили о том, что развитие техники зависит от умения использовать громадную внутреннюю энергию топлива.

Использовать внутреннюю энергию — значит совершить за счёт неё полезную работу, например поднять груз, перевезти вагоны и т. п. А это, в свою очередь, означает, что внутреннюю энергию необходимо превратить в механическую. Как это сделать?

В пробирку нальём немного воды, затем плотно закроем её пробкой и нагреем воду до кипения. Под давлением пара пробка выскочит и поднимется вверх. Здесь энергия топлива перешла во внутреннюю энергию пара, а пар, расширяясь, совершил работу — поднял пробку. Внутренняя


Тепловой двигатель Дж. Уатта

энергия пара превратилась в кинетическую энергию пробки.

Заменим пробирку прочным металлическим цилиндром, а пробку — плотно пригнанным поршнем, который может двигаться вдоль цилиндра. Мы получим простейший *тепловой двигатель*, в котором внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию поршня. Такой двигатель был изобретён в конце XVII в. ***Джеймсом Уаттом*** и усовершенствован в дальнейшем.

Тепловыми двигателями называют машины, в которых внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию.

Существует несколько видов тепловых двигателей: *паровая машина, двигатель внутреннего сгорания, паровая и газовая турбины, реактивный двигатель*. Во всех этих двигателях энергия топлива сначала переходит в энергию газа (или пара). Газ, расширяясь, совершает работу и при этом охлаждается. Часть его внутренней энергии превращается в механическую энергию.

Из всех существующих тепловых двигателей мы рассмотрим двигатель внутреннего сгорания и паровую турбину.

? Вопросы

1. Приведите примеры устройств, в которых происходит превращение внутренней энергии пара в механическую энергию. 2. Какие двигатели называют тепловыми? 3. Какие виды тепловых двигателей вам известны? Какие переходы и превращения энергии происходят в них?

§ 22 ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатель внутреннего сгорания — очень распространённый вид теплового двигателя. Топливо в нём сгорает прямо в цилиндре, внутри самого двигателя. Отсюда и происходит название этого двигателя.

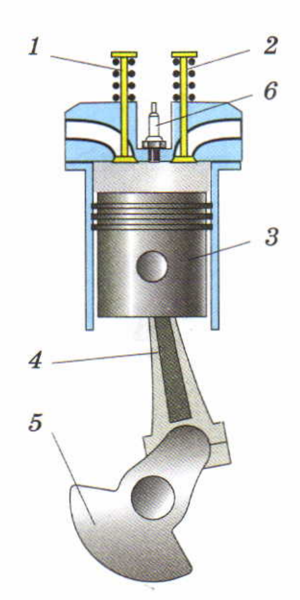


Рис. 26. Двигатель внутреннего сгорания в разрезе

Двигатели внутреннего сгорания работают на жидком топливе (бензин, керосин, нефть) или на горючем газе.

Тепловые двигатели такого типа обычно устанавливают на автомобили.

На рисунке 26 показан простейший двигатель внутреннего сгорания в разрезе.

Двигатель состоит из цилиндра, в котором перемещается поршень *3*, соединённый при помощи шатуна *4* с коленчатым валом *5*.

В верхней части цилиндра имеется два клапана *1* и *2*, которые при работе двигателя автоматически открываются и закрываются в нужные моменты. Через клапан *1* в цилиндр поступает горючая смесь, которая воспламеняется с помощью свечи *6*, а через клапан *2* выпускаются отработавшие газы.

В цилиндре такого двигателя периодически происходит сгорание горючей смеси, состоящей из паров бензина и воздуха. Температура газообразных продуктов сгорания достигает 1600—1800 °С. Давление на поршень при этом резко возрастает.

Расширяясь, газы толкают поршень, а вместе с ним и коленчатый вал, совершая механическую работу. При этом они охлаждаются, так как часть внутренней энергии газов превращается в механическую энергию.

Рассмотрим более подробно схему работы такого двигателя. Крайние положения поршня в цилиндре называют ***мёртвыми точками***. Расстояние, проходимое поршнем от одной мёртвой точки до другой, называют ***ходом поршня***.

Один рабочий цикл в двигателе происходит за четыре хода поршня, или, как говорят, за четыре *такта*. Поэтому такие двигатели называют ***четырёхтактными***.

Один ход поршня, или один такт двигателя, совершается за пол-оборота коленчатого вала.

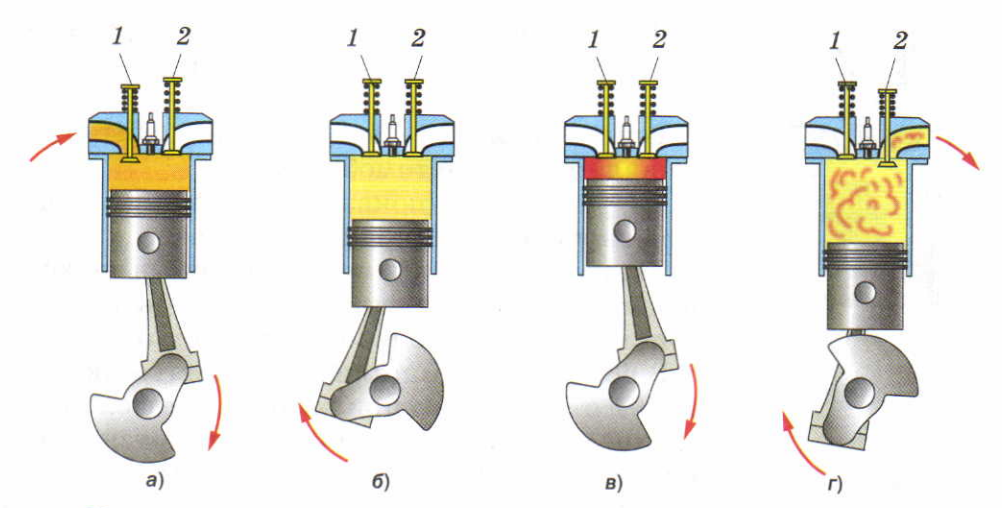


Рис. 27. Циклы работы двигателя внутреннего сгорания



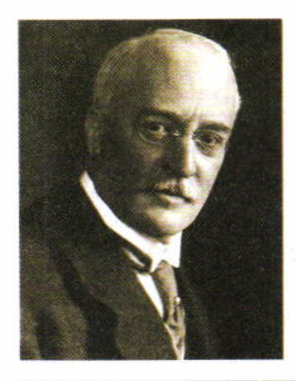
Двигатель внутреннего сгорания:
а — мотоцикла;
б — автомобиля;
в — самолёта

При повороте вала двигателя в начале первого такта поршень движется вниз (рис. 27, *а*). Объём над поршнем увеличивается. Вследствие этого в цилиндре создаётся разрежение. В это время открывается клапан *1* и в цилиндр входит горючая смесь. К концу первого такта цилиндр заполняется горючей смесью, а клапан *1* закрывается.

При дальнейшем повороте вала поршень движется вверх (второй такт) и сжимает горючую смесь (рис. 27, *б*). В конце второго такта, когда поршень дойдёт до крайнего верхнего положения, сжатая горючая смесь воспламеняется (от электрической искры) и быстро сгорает.

Образующиеся при сгорании газы давят на поршень и толкают его вниз (рис. 27, *в*). Под действием расширяющихся нагретых газов (третий такт) двигатель совершает работу, поэтому этот такт называют ***рабочим ходом***. Движение поршня передаётся шатуну, а через него коленчатому валу с маховиком. Получив сильный толчок, маховик продолжает вращаться по инерции и перемещает скреплённый с ним поршень при последующих тактах. Вто-

рой и третий такты происходят при закрытых клапанах.



ДИЗЕЛЬ РУДОЛЬФ

(1858—1913)

Немецкий инженер, создатель двигателя внутреннего сгорания, используемого по настоящее время.

В конце третьего такта открывается клапан *2*, и через него продукты сгорания выходят из цилиндра в атмосферу. Выпуск продуктов сгорания продолжается и в течение четвёртого такта, когда поршень движется вверх (рис. 27, *г*). В конце четвёртого такта клапан *2* закрывается.

Итак, *цикл двигателя состоит из следующих четырёх процессов (тактов)*: ***впуска, сжатия, рабочего хода, выпуска.***

В автомобилях используют чаще всего четырёхцилиндровые двигатели внутреннего сгорания. Работа цилиндров согласуется так, что в каждом из них поочерёдно происходит рабочий ход и коленчатый вал всё время получает энергию от одного из поршней. Имеются и восьмицилиндровые двигатели. Многоцилиндровые двигатели в лучшей степени обеспечивают равномерность вращения вала и имеют большую мощность.

Применение двигателей внутреннего сгорания чрезвычайно разнообразно. Они приводят в движение самолёты, теплоходы, автомобили, тракторы, тепловозы. Мощные двигатели внутреннего сгорания устанавливают на речных и морских судах.

? Вопросы

1. Какой двигатель называют двигателем внутреннего сгорания? **2.** Пользуясь рисунком 26, расскажите, из каких основных частей состоит простейший двигатель внутреннего сгорания. **3.** За сколько ходов, или тактов, происходит один рабочий цикл двигателя? Сколько оборотов делает при этом вал двигателя? **4.** Какие процессы происходят в двигателе в течение каждого из четырёх тактов? Как называют эти такты? **5.** Какую роль играет маховик в двигателе внутреннего сгорания?

§ 23 ПАРОВАЯ ТУРБИНА


Ротор паровой турбины

В современной технике широко применяют другой тип теплового двигателя. В нём пар или нагретый до высокой температуры газ вращает вал двигателя без помощи поршня, шатуна и коленчатого вала. Такие двигатели называют ***турбинами***.

Схема устройства простейшей паровой турбины приведена на рисунке 28. На вал *5* насажен диск *4*, по ободу которого закреплены лопатки *2*. Около лопаток расположены трубы — сопла *1*, в которые поступает пар *3* из котла. Струи пара, вырывающиеся из сопел, оказывают значительное давление на лопатки и приводят диск турбины в быстрое вращательное движение.

В современных турбинах применяют не один, а несколько дисков, насаженных на общий вал. Пар последовательно проходит через лопатки всех дисков, отдавая каждому из них часть своей энергии.

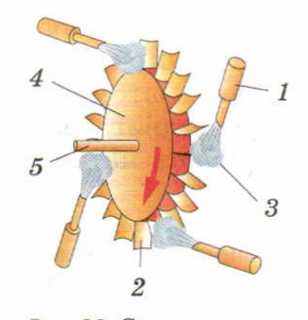


Рис. 28. Схема паровой турбины

На электростанциях с турбиной соединён генератор электрического тока. Частота вращения вала турбин достигает 3000 оборотов в минуту, что является очень удобным для приведения в движение генераторов электрического тока.

В нашей стране строят паровые турбины мощностью от нескольких киловатт до 1 200 000 кВт.

Применяют турбины на тепловых электростанциях и на кораблях.

Постепенно находят всё более широкое применение газовые турбины, в которых вместо пара используются продукты сгорания газа.

? Вопросы **1.** Какие тепловые двигатели называют паровыми турбинами? **2.** В чём отличие в устройстве турбин и поршневых машин? **3.** Пользуясь рисунком 28, расскажите, из каких частей состоит паровая турбина и как она работает.

§ 24 КПД ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Любой тепловой двигатель превращает в механическую энергию только незначительную часть энергии, которая выделяется топливом. Бо́льшая часть энергии топлива не используется полезно, а теряется в окружающем пространстве.

Тепловой двигатель состоит из ***нагревателя, рабочего тела*** и ***холодильника***. Газ или пар, который является рабочим телом, получает от нагревателя некоторое количество теплоты. Рабочее тело, нагреваясь, расширяется и совершает работу за счёт своей внутренней энергии. Часть энергии передаётся атмосфере — холодильнику — вместе с отработанным паром или выхлопными газами.

Очень важно знать, какую часть энергии, выделяемой топливом, тепловой двигатель превращает в полезную работу. Чем больше эта часть энергии, тем двигатель экономичнее.

Для характеристики экономичности различных двигателей введено понятие *коэффициента полезного действия двигателя* — **КПД**.

Отношение совершённой полезной работы двигателя к энергии, полученной от нагревателя, называют коэффициентом полезного действия теплового двигателя.

$$\eta = \frac{A_п}{Q_1}$$

Коэффициент полезного действия обозначают η (греч. буква «эта»).

КПД теплового двигателя определяют по формуле

$$\eta = \frac{A_п}{Q_1}, \text{ или } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%,$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$$

где $A_п$ — полезная работа, Q_1 — количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 — количество теплоты, отданное холодильнику,

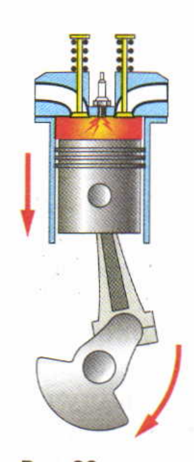


Рис. 29

$Q_1 - Q_2$ — количество теплоты, которое пошло на совершение работы. КПД выражается в процентах.

Например, двигатель из всей энергии, выделившейся при сгорании топлива, расходует на совершение полезной работы только одну четвёртую часть. Тогда коэффициент полезного действия двигателя равен $\frac{1}{4}$, или 25%.

КПД двигателя обычно выражают в процентах. Он всегда меньше единицы, т. е. меньше 100%. Например, КПД двигателей внутреннего сгорания 20—40%, паровых турбин — немногим выше 30%.



1. Почему в тепловых двигателях только часть энергии топлива превращается в механическую энергию? **2.** Что называют КПД теплового двигателя? **3.** Почему КПД двигателя не может быть не только больше 100%, но и равен 100%? **4.** Какой такт работы двигателя внутреннего сгорания изображён на рисунке 29?

УПРАЖНЕНИЕ 17

1. Можно ли за счёт внутренней энергии тела, равной 200 Дж, совершить механическую работу в 200 Дж?
2. Тепловая машина за цикл получает от нагревателя количество теплоты, равное 155 Дж, а холодильнику отдаёт количество теплоты, равное 85 Дж. Определите КПД машины.
3. Определите количество теплоты, отданное двигателем внутреннего сгорания холодильнику, если его КПД равен 30%, а полезная работа равна 450 Дж.

ЗАДАНИЕ

Подготовьте доклад на одну из тем (по выбору).

- История изобретения паровых машин.
- История изобретения турбин.
- Первые паровозы Стефенсона и Черепановых.
- Достижения науки и техники в строительстве паровых турбин.
- Использование энергии Солнца на Земле.

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- **Температура** является мерой средней кинетической энергии хаотического движения молекул.
- **Внутреннюю энергию** тела можно изменить путём *совершения работы* или путём *теплопередачи*. Существует три способа теплопередачи: *теплопроводность, конвекция, излучение*.
- **Количеством теплоты** называют энергию, которую тело получает или теряет в процессе теплопередачи.
- **Удельная теплоёмкость (c)** — это физическая величина, которая показывает, какое количество теплоты необходимо затратить для нагревания 1 кг вещества на 1 град:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

- Количество теплоты, необходимое для нагревания тела или выделяемое им при охлаждении, рассчитывают по формуле:

$$Q = cm(t_2 - t_1); Q = cm\Delta t.$$

- **Удельная теплота сгорания топлива (q)** — это физическая величина, которая показывает, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании топлива массой 1 кг.
- Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива, вычисляют по формуле:

$$Q = qm.$$

- **Закон сохранения и превращения энергии:** энергия не возникает и не исчезает, она только переходит из одного вида в другой, и значение её сохраняется.
- **Плавление** — это переход вещества из твёрдого состояния в жидкое.
- **Кристаллизация (отвердевание)** — это переход вещества из жидкого состояния в твёрдое.

- **Удельная теплота плавления (λ)** — это физическая величина, которая показывает, какое количество теплоты необходимо затратить для плавления 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления.
- Количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела при температуре плавления, рассчитывают по формуле:

$$Q = \lambda m.$$

- **Парообразование** — это переход вещества из жидкого состояния в пар.
- **Испарение** — это парообразование, происходящее с поверхности жидкости.
- **Конденсация** — это превращение пара в жидкость.
- **Кипение** — это процесс испарения жидкости, сопровождающийся образованием и ростом пузырьков пара по всему объёму жидкости, всплывающих на её поверхность при определённой температуре.
- **Температура кипения** — это температура, при которой происходит кипение жидкости при нормальном давлении.
- **Удельная теплота парообразования (L)** — это физическая величина, которая показывает, какое количество теплоты необходимо для обращения 1 кг жидкости в пар при постоянной температуре.
- Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар, рассчитывают по формуле:

$$Q = Lm.$$

- **Насыщенный пар** — это пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.
- **Ненасыщенный пар** — это пар, который не находится в состоянии равновесия со своей жидкостью.

- **Точкой росы** называют температуру, при которой пар становится насыщенным (т. е. относительная влажность становится равной 100%) и дальнейшее понижение температуры приводит к конденсации водяного пара.
- **Тепловой двигатель** — это машина, которая преобразует внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

  КПД теплового двигателя определяют по формуле:

$$\eta = \frac{A_п}{Q_1}, \text{ или } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%.$$

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. К тепловым явлениям относятся:
   А. движение Земли вокруг Солнца
   Б. падение мяча на землю
   В. нагревание воды в чайнике
   Г. притяжение магнитом иголки
2. Температура тела зависит от:
   А. размеров тела
   Б. скорости движения молекул
   В. скорости движения тела
   Г. положения тела относительно Земли
3. Книгу переместили с нижней полки на верхнюю, её внутренняя энергия:
   А. изменилась
   Б. не изменилась
   В. превратилась в кинетическую
   Г. книга не обладает внутренней энергией
4. Теплопередача — это:
   А. изменение внутренней энергии при совершении работы над телом
   Б. изменение внутренней энергии при совершении работы самим телом
   В. изменение внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом
   Г. явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой

5. Установите соответствие между физическими величинами и единицами их измерения.

А) количество теплоты — 1) Дж/кг
Б) удельная теплоёмкость — 2) Дж
В) удельная теплота сгорания — 3) Дж/(кг · °С)

6. Агрегатное состояние вещества определяется:

А. только расположением молекул
Б. характером движения и взаимодействия молекул
В. расположением молекул, характером движения и взаимодействия молекул

7. Влажность воздуха характеризуется:

А. плотностью водяного пара, содержащегося в воздухе
Б. температурой, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным
В. температурой, при которой жидкость начинает кипеть
Г. температурой, при которой тело начинает плавиться

8. Установите соответствие между физическими величинами и их обозначением.

А) удельная теплота плавления — 1) φ
Б) относительная влажность воздуха — 2) λ
В) удельная теплота парообразования — 3) η
Г) коэффициент полезного действия — 4) L

9. КПД теплового двигателя может быть:

А. больше 100%
Б. равен 100%
В. меньше 100%
Г. всегда 50%



1. Выполните задания, предложенные в электронном приложении.

2. На сайте http://class-fizika.narod.ru найдите тесты по теме «Тепловые явления» и проверьте себя.

3. На сайте http://class-fizika.narod.ru найдите тесты по теме «Изменение агрегатных состояний вещества» и проверьте себя.

Глава 2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 25 ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ ПРИ СОПРИКОСНОВЕНИИ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ

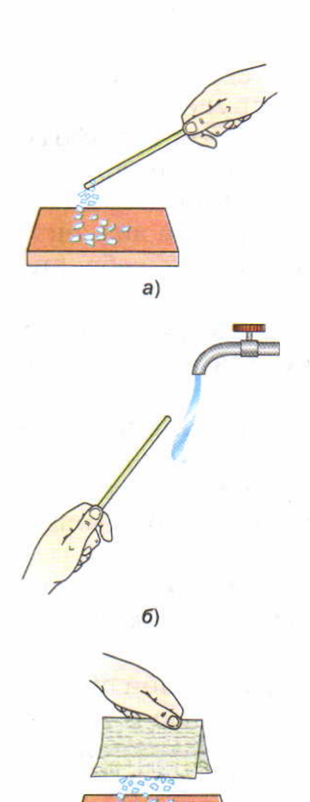


Рис. 30. Электризация трением

Ещё в глубокой древности люди заметили, что янтарь (окаменевшая смола хвойных деревьев), потёртый о шерсть, приобретает способность притягивать к себе различные тела: соломинки, пушинки, ворсинки меха и т. д.

В дальнейшем установили, что этим свойством обладают и другие вещества: стеклянная палочка, потёртая о шёлк, палочка из органического стекла, натёртая о бумагу, эбонит (каучук с большой примесью серы), потёртый о сукно или мех.

Так, если потереть стеклянную палочку о лист бумаги, а затем поднести её к мелко нарезанным листочкам бумаги, то они начнут притягиваться к стеклянной палочке (рис. 30, *а*). К ней будут притягиваться и тонкие струйки воды (рис. 30, *б*).

Наблюдаемые явления в начале XVII в. были названы ***электрическими*** (от греч. *электрон* — янтарь). Стали говорить, что тело, получившее после натирания способность притягивать другие тела, *наэлектризовано* или что ему сообщён *электрический заряд*.

Если потереть о сухое сукно эбонитовую палочку, то не только палочка, но и сукно начнёт притягивать кусочки бумаги (рис. 30, *в*). Значит, при трении электризуются оба тела.

Электрический заряд может передаваться от одного тела к другому. Для этого необходимо лишь коснуться наэлектризованным телом другого тела. При этом часть электрического заря-

да перейдёт на второе тело. И это тело начнёт притягивать к себе мелкие листочки бумаги, пушинки и т. д.

Итак, *электризация тел происходит при их соприкосновении.*

На явлении электризации тел при соприкосновении основан принцип работы ксероксов. На явлении электризации основан принцип работы электрических фильтров, очищающих воздух от пыли и дыма. При окрашивании предметов применяется электризация частицы краски при её распылении, что позволяет добиться более ровного и прочного нанесения краски на предмет.

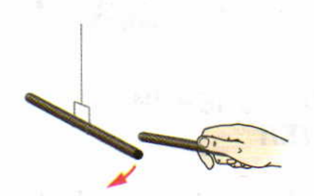


Рис. 31. Отталкивание наэлектризованных эбонитовых палочек

Все наэлектризованные тела обладают свойством притягивать к себе другие тела (см. рис. 30). По притяжению тел нельзя отличить электрический заряд, например, стеклянной палочки, потёртой о шёлк, от заряда эбонитовой палочки, потёртой о мех. Ведь обе наэлектризованные палочки притягивают к себе листочки бумаги.

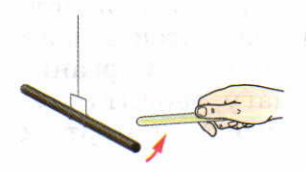


Рис. 32. Притяжение наэлектризованных палочек

Означает ли это, что заряды, полученные на телах из разных веществ, ничем не отличаются друг от друга?

Наэлектризуем две эбонитовые палочки трением о мех. Одну из них подвесим, как показано на рисунке 31, и поднесём к ней другую. Мы заметим, что наэлектризованные эбонитовые палочки отталкиваются.

Точно такой же результат получается, если вместо эбонитовых палочек взять стеклянные, потёртые о шёлк.

Теперь поднесём к наэлектризованной эбонитовой палочке стеклянную, потёртую о шёлк. Мы заметим, что эбонитовая и стеклянная палочки притягиваются друг к другу (рис. 32).

Таким образом, *наэлектризованные тела или притягиваются друг к другу, или отталкиваются.*

Чем же может быть вызвано такое различие во взаимодействии наэлектризованных тел?



Электризация волос

Очевидно, тем, что электрический заряд, появившийся при электризации, у эбонитовой палочки иного рода, чем у стеклянной. И действительно, тщательное изучение этих явлений подтверждает такое предположение.

Электрический заряд, полученный на стеклянной палочке, потёртой о шёлк, условились называть ***положительным***. Заряд эбонитовой палочки, потёртой о мех, — ***отрицательным***. Одни тела электризуются так, как стеклянная палочка, т. е. положительно. Другие, как эбонитовая палочка, — отрицательно. Положительные заряды обозначают знаком «+», отрицательные — знаком «–».

К наэлектризованной эбонитовой палочке будем подносить наэлектризованные тела из различных веществ, например из резины, пластмассы и др. В одних случаях эбонитовая палочка отталкивается от этих тел, в других — притягивается.



Притяжение разноимённо заряженных султанчиков

Если эбонитовая палочка отталкивается от поднесённого к ней наэлектризованного тела, значит, на палочке заряд такого же рода, что и на теле, т. е. отрицательный. В случае, когда эбонитовая палочка притягивается к поднесённому телу, значит, у палочки и у тела заряды разного рода. На эбонитовой палочке — отрицательный, на теле — положительный.

Поэтому можно считать, что *существует только два рода электрических зарядов.*

Проделанные нами опыты показывают, что ***тела, имеющие электрические заряды одинакового знака, взаимно отталкиваются, а тела, имеющие заряды противоположного знака, взаимно притягиваются.***



1. Как взаимодействуют друг с другом две эбонитовые палочки, наэлектризованные трением о мех? **2.** Как показать, что стеклянная палочка, наэлектризованная трением о шёлк, имеет заряд другого рода, чем заряд эбонитовой палочки, наэлектризованной трением о

шерсть? 3. Какие два рода электрических зарядов существуют в природе? 4. Как взаимодействуют тела, имеющие заряды одного знака; разного знака?



УПРАЖНЕНИЕ 18

1. Можно ли на концах стеклянной палочки получить одновременно разноимённые заряды?
2. На шёлковой нити висит заряженная бумажная гильза. Предложите способ определения рода заряда гильзы.

ЗАДАНИЕ

1. Возьмите маленький кусочек ватки. Наэлектризуйте пластмассовую расчёску и поднесите её к ватке. Ватка наэлектризуется и притянется к расчёске. Резко дёрнув расчёску, оторвите ватку и быстро подведите расчёску под ватку. Почему ватка плавает в воздухе?
2. Наэлектризуйте один воздушный шарик о газету, другой — о кусок шерстяной материи. Подвесьте их на некотором расстоянии друг от друга. Почему они притягиваются?

§ 26 ЭЛЕКТРОСКОП



Электроскоп

Электризация тел может осуществляться не только при трении. Например, если прикоснуться к телу каким-либо предварительно наэлектризованным предметом, то оно электризуется.

Поднесём наэлектризованную эбонитовую палочку к гильзе, изготовленной из металлической фольги и висящей на шёлковой нити (рис. 33). Гильза сначала притянется к палочке, затем оттолкнётся от неё. Очевидно, гильза, коснувшись палочки, получила от неё отрицательный заряд. Это предположение можно проверить, если к уже заряженной гильзе поднести наэлектризованную о шёлк стеклянную палочку. Гильза, которая только что оттолкну-

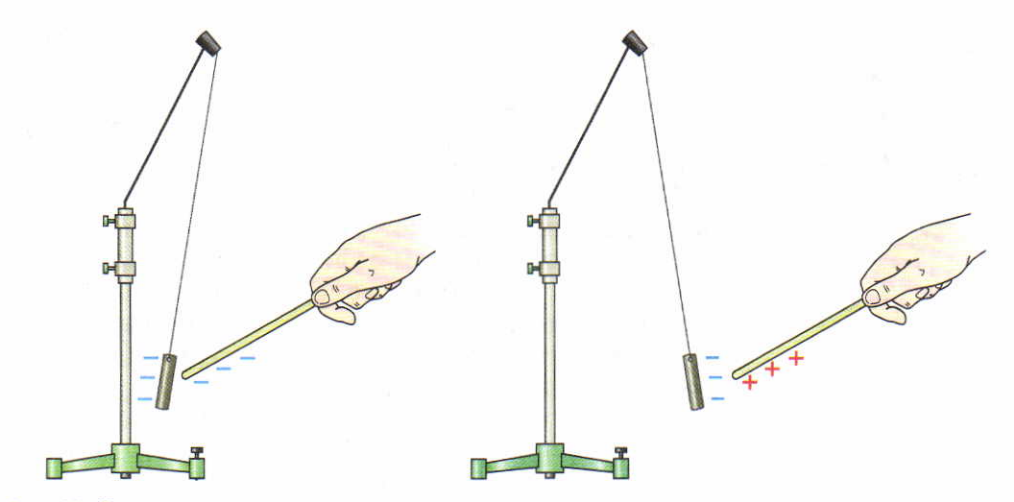


Рис. 33. Электризация гильзы

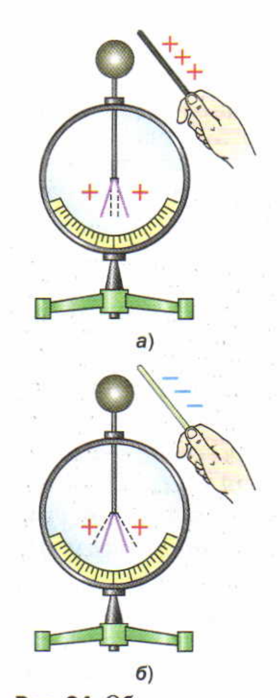


Рис. 34. Обнаружение заряда с помощью электроскопа:
а — незаряженного;
б — заряженного

лась от эбонитовой палочки, притягивается к стеклянной.

С помощью подобных опытов можно обнаружить, что тело наэлектризовано, т. е. ему сообщён электрический заряд. На рассмотренном физическом явлении основано действие ***электроскопа*** (от греч. *электрон* и *скопео* — наблюдать, обнаруживать). Электроскоп — это простейший прибор для обнаружения электрических зарядов и приблизительного определения их величины. Простейший школьный электроскоп изображён на рисунке 34. В нём металлический стержень с листочками пропущен через пластмассовую пробку, вставленную в металлический корпус. Корпус с обеих сторон закрыт стёклами. Если к незаряженному электроскопу поднести, например, заряженную эбонитовую палочку, то его лепестки разойдутся (рис. 34, *а*). Если к положительно заряженному электроскопу поднести тело, имеющее заряд того же знака, как электроскоп, то его листочки разойдутся сильнее. Приближая к электроскопу тело, заряженное противоположным по знаку зарядом, заметим, что угол

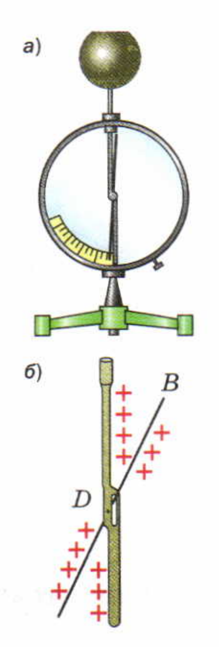


Рис. 35. Электрометр: *а* — внешний вид; *б* — механизм зарядки

между листочками электроскопа уменьшится (рис. 34, *б*).

Таким образом, *заряженный электроскоп позволяет обнаружить, каким зарядом наэлектризовано то или иное тело.*

По отклонению листочков электроскопа можно определить также, увеличился или уменьшился его заряд. Чем больше угол, на который разойдутся листочки электроскопа при его электризации, тем сильнее он наэлектризован. Значит, тем больший электрический заряд на нём находится.

Существует ещё один вид электроскопа — *электрометр* (рис. 35, *а*). В нём вместо лепестков на металлическом стержне укреплена стрелочка — *B*. Она, заряжаясь от стержня *D*, отталкивается от него и отклоняется на некоторый угол (рис. 35, *б*).



1. Как при помощи листочков бумаги обнаружить, наэлектризовано ли тело? **2.** Опишите устройство школьного электроскопа. **3.** Как по углу расхождения листочков электроскопа судят о его заряде?

§ 27 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Опыты, позволяющие обнаружить притяжение или отталкивание заряженных тел, убеждают нас в том, что *электрические заряды взаимодействуют на расстоянии.* Причём чем ближе друг к другу находятся наэлектризованные тела, тем взаимодействие между ними сильнее, чем дальше — тем слабее.

При изучении механики мы видели, что действие одного тела на другое происходит непосредственно при их взаимодействии. Как же объяснить взаимодействие наэлектризованных тел? В наших опытах наэлектризованные тела находились друг от друга на некотором расстоянии. Может быть, действие одного наэлек-

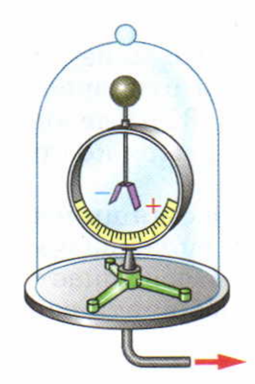
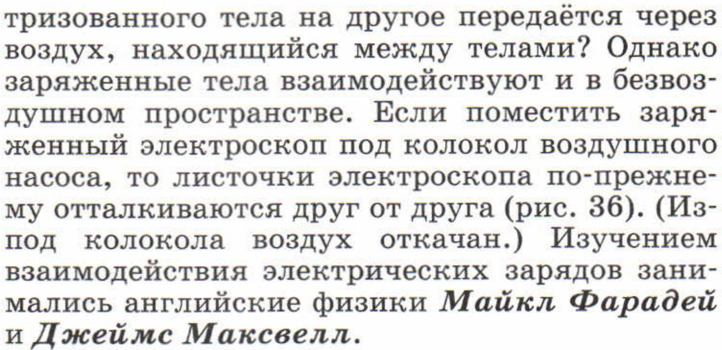


Рис. 36. Заряженный электроскоп под колоколом воздушного насоса



тризованного тела на другое передаётся через воздух, находящийся между телами? Однако заряженные тела взаимодействуют и в безвоздушном пространстве. Если поместить заряженный электроскоп под колокол воздушного насоса, то листочки электроскопа по-прежнему отталкиваются друг от друга (рис. 36). (Из-под колокола воздух откачан.) Изучением взаимодействия электрических зарядов занимались английские физики ***Майкл Фарадей*** и ***Джеймс Максвелл***.

В результате длительного изучения электрических явлений установлено, что всякое заряженное тело окружено *электрическим полем*.

Электрическое поле — это особый вид материи, отличающийся от вещества.

Наши органы чувств не воспринимают электрическое поле. Обнаружить поле можно благодаря тому, что оно действует на всякий находящийся в нём заряд. Именно этим и объясняется взаимодействие наэлектризованных тел. Электрическое поле, окружающее один из зарядов, действует с некоторой силой на другой заряд, помещённый в поле первого заряда. И наоборот, электрическое поле второго заряда действует на первый.

Сила, с которой электрическое поле действует на внесённый в него электрический заряд, называется электрической силой.

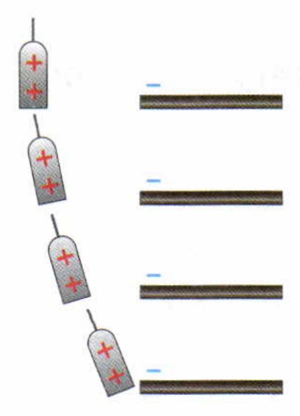


Рис. 37. Зависимость действия электрического поля от расстояния до заряда

Когда мы подносили заряженную палочку к заряженной гильзе, то наблюдали отталкивание гильзы. Мы тем самым обнаруживали электрическое поле палочки по его действию на заряд, находящийся на гильзе. Но и гильза своим полем действовала на эбонитовую палочку. Таким образом, *в случае наэлектризованных тел наблюдается взаимодействие*.

Многочисленные опыты позволяют сделать вывод о том, *что вблизи заряженного тела действие поля сильнее, а по мере удаления от него действие поля ослабевает*.

Так, поднесём к гильзе палочку, имеющую заряд противоположного знака. По мере приближения палочки к гильзе угол отклонения гильзы будет увеличиваться (рис. 37). Следовательно, чем ближе расположены заряженные тела, тем сильнее действие поля.

Поскольку на любой заряд, находящийся в электрическом поле, действует сила, значит, при перемещении заряда полем совершается работа. А если поле способно совершить работу, то оно обладает энергией.

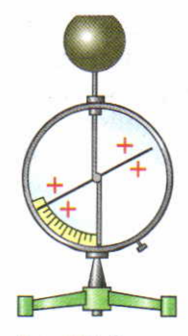
? Вопросы

1. Опишите опыт, который показывает, что электрическое взаимодействие передаётся не через воздух. **2.** Чем отличается пространство, окружающее наэлектризованное тело, от пространства, окружающего ненаэлектризованное тело? **3.** Как можно обнаружить электрическое поле? **4.** Как изменяется сила, действующая на заряженную гильзу при удалении её от заряженного тела? Как это показать на опыте?

УПРАЖНЕНИЕ 19

1. Куда будут двигаться отрицательно заряженные пушинки, попавшие в электрическое поле потёртой мехом эбонитовой палочки?
2. К заряженной гильзе поднесли палочку, имеющую заряд противоположного знака. Как будет меняться отклонение гильзы по мере приближения палочки? Почему?

§ 28 ДЕЛИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. ЭЛЕКТРОН



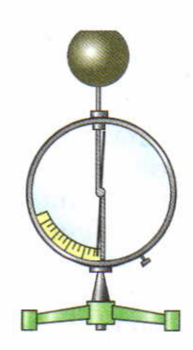


Рис. 38. Зарядка электроскопа

Вам уже известно, что для объяснения тепловых явлений необходимы знания о молекулярном строении вещества. Возможно ли с помощью представлений о молекулярном строении вещества объяснить явление электризации? Известно, что в обычном состоянии молекулы и атомы не имеют электрического заряда. Следовательно, нельзя объяснить электризацию их перемещением. Если же предположить, что в

природе существуют частицы, имеющие электрический заряд, то при делении заряда должен быть обнаружен предел деления.

Проделаем следующий опыт. Зарядим электроскоп (рис. 38), а затем при помощи металлической проволоки соединим его с другим, незаряженным электроскопом (рис. 39). Как только проволока коснётся шариков обоих электроскопов, то половина заряда первого шара перейдёт на второй.

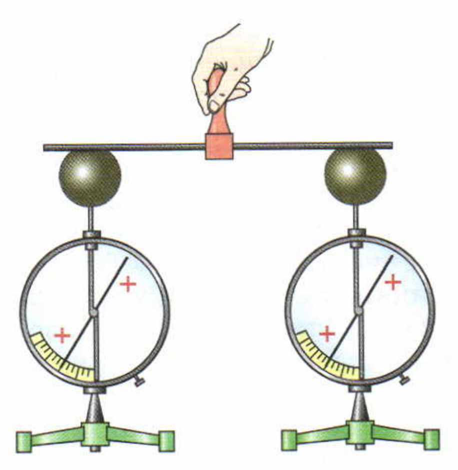


Рис. 39. Делимость электрического заряда

Это значит, *что первоначальный заряд поделился на две равные части*.

Если к первому электроскопу, на котором осталась половина первоначального заряда, снова присоединить незаряженный электроскоп, то на нём останется $\frac{1}{4}$ от первоначального заряда. Таким же образом каждый из этих разделённых зарядов можно снова поделить на две равные части и т. д.

Существует ли предел деления заряда? Не может ли получиться заряд такой величины, который уже не поддаётся дальнейшему делению?

Чтобы ответить на эти вопросы, пришлось провести ещё более сложные опыты. Дело в том, что оставшийся на шаре электроскопа заряд становится таким малым, что при помощи электроскопа его обнаружить невозможно. С этой целью для деления заряда на маленькие порции его передавали не шарам, а маленьким крупинкам металла или жидкости. После чего измеряли заряд, полученный на этих маленьких телах, который оказался в миллиарды миллиардов раз меньше, чем в рассмотренных нами опытах (см. рис. 38). Но дальше определённой ве-



МИЛЛИКЕН РОБЕРТ

(1868—1953)

Американский физик-экспериментатор. Опытным путём доказал существование частиц с наименьшим зарядом. Лауреат Нобелевской премии

личины заряд разделить не удавалось. Это позволило предположить, что *существует заряженная частица, которая имеет самый малый заряд, который разделить невозможно.*

Существование мельчайших частиц, имеющих наименьший электрический заряд, было доказано многими опытами. Такие опыты проводили советский учёный ***Абрам Фёдорович Иоффе*** и американский учёный ***Роберт Милликен.*** В своих опытах они электризовали мелкие пылинки цинка. Заряд пылинок меняли и вычисляли. Так поступали несколько раз. При этом заряд оказывался каждый раз другим. Но все его изменения были в целое число раз (т. е. в 2, 3, 4 и т. д.) больше некоторого определённого наименьшего заряда. Этот результат можно объяснить только так. К пылинке цинка присоединяется или от неё отделяется только наименьший заряд (или целое число таких зарядов). Этот заряд дальше уже не делится. Частицу, имеющую самый маленький заряд, назвали ***электроном.***



ИОФФЕ АБРАМ ФЁДОРОВИЧ

(1880—1960)

Российский физик, академик. Создатель российской научной школы. Проводил исследования по измерению заряда электрона.

Электрон очень мал. Масса электрона равна $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг. Эта масса примерно в 3700 раз меньше массы молекулы водорода, которая является наименьшей из всех молекул.

Электрический заряд — это одно из основных свойств электрона. Нельзя представить, что заряд можно снять с электрона. Они неотделимы друг от друга.

Электрический заряд — *это физическая величина.* Она обозначается буквой q. За единицу электрического заряда принят кулон (**Кл**). Эта единица названа в честь французского физика ***Шарля Кулона.***

Электрон — частица с наименьшим отрицательным зарядом. Его заряд равен $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



КУЛОН ШАРЛЬ ОГЮСТЕН

(1763—1806)

Французский физик, военный инженер. Изобрёл прибор для установления основных законов электрического и магнитного взаимодействий.



1. Как на опыте показать, что электрический заряд делится на части? 2. Имеет ли электрический заряд предел делимости? 3. Как назвали частицу с самым малым зарядом? Что вы знаете о заряде и массе электрона?

§ 29 СТРОЕНИЕ АТОМОВ

Атомы разных элементов в обычном состоянии отличаются друг от друга числом электронов, движущихся вокруг ядра. Так, в атоме водорода вокруг ядра движется один электрон, в атоме гелия — два электрона. Есть атомы с тремя, четырьмя электронами и т. д. Вокруг ядра атома кислорода движется 8 электронов, железа — 26, урана — 92 электрона.

Но всё же *главной характеристикой данного химического элемента является не число электронов, а* ***заряд ядра.***

Дело в том, что электроны могут иногда отрываться от атома и тогда общий заряд электронов в атоме изменится. Заряд же ядра изменить очень трудно. А если он изменится, то получится уже другой химический элемент.

Так как заряд ядра равен по абсолютному значению общему заряду электронов атома, можно предположить, что *в составе ядра находятся положительно заряженные частицы*. Их назвали ***протонами***. Масса протона $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг, что почти в 1840 раз больше, чем масса электрона.

Заряд протона положителен и равен по абсолютному значению заряду электрона.

Дальнейшее изучение состава ядра позволило предположить, что, кроме протонов, в ядрах атомов содержатся ещё *нейтральные (не имеющие заряда) частицы*. Они получили название ***нейтронов***. Масса нейтрона ненамного больше массы протона.

Итак, ***строение атома таково: в центре атома находится ядро, состоящее из протонов и нейтронов, а вокруг ядра движутся электроны.***

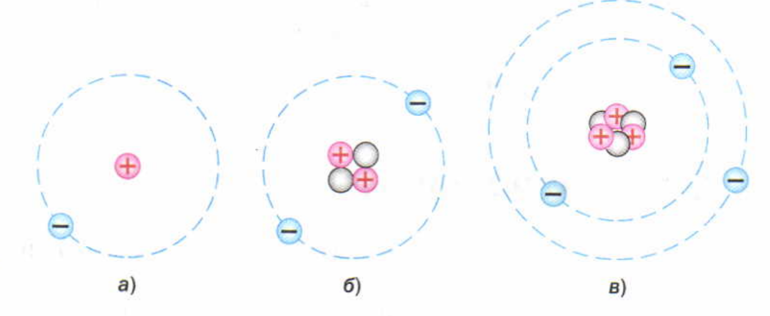


Рис. 40. Модели атомов: *а* — водорода; *б* — гелия; *в* — лития

На рисунке 40 показаны модели атомов водорода (рис. 40, *а*), гелия (рис. 40, *б*) и лития (рис. 40, *в*). Протоны обозначены на рисунке кружками со знаком «+», нейтроны — серыми кружками (соотношение размеров и расстояний на рисунке не соблюдено).

Напомним, что атом в целом не имеет заряда, он *нейтрален*, потому что положительный заряд его ядра равен отрицательному заряду всех его электронов.

Но атом, потерявший один или несколько электронов, уже не является нейтральным, а будет иметь положительный заряд. Его называют тогда ***положительным ионом***.

Наблюдается и обратное. Лишний электрон присоединяется к нейтральному атому. В этом случае атом приобретает отрицательный заряд и становится ***отрицательным ионом***.

? Вопросы

1. Чем отличаются друг от друга атомы различных химических элементов? **2.** Что является главной характеристикой данного химического элемента? **3.** Какие частицы входят в состав ядра? **4.** Каково строение атомов водорода, гелия и лития? **5.** Как образуются положительные и отрицательные ионы?

УПРАЖНЕНИЕ 20

1. В ядре атома углерода содержится 12 частиц. Вокруг ядра движутся 6 электронов. Сколько в ядре этого атома протонов и сколько нейтронов?
2. От атома гелия отделился один электрон. Как называется оставшаяся частица? Каков её заряд?
3. Существуют ли атомы с зарядом ядра меньшим, чем заряд протона?

§ 30 ОБЪЯСНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Вам уже известно, что все тела состоят из атомов. В каждом атоме число протонов и число электронов одинаково, поэтому в обычных условиях *общее число электронов* в любом теле равно *общему числу протонов* в нём. Все электроны одинаковы, и каждый из них имеет наименьший отрицательный заряд. Все протоны также одинаковы, и каждый имеет положительный заряд, равный заряду электрона.

Итак, ***сумма всех отрицательных зарядов в теле равна по абсолютному значению сумме всех положительных зарядов, и тело в целом не имеет заряда. Оно электрически нейтрально.***

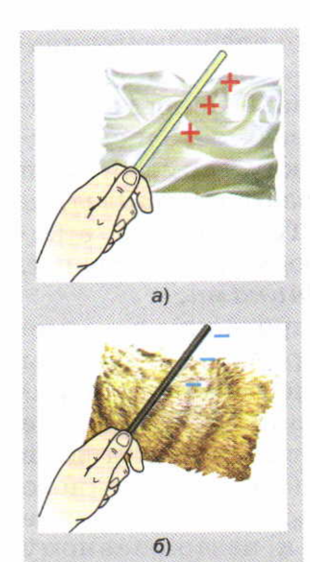
Если же нейтральное тело приобретёт электроны от какого-нибудь другого тела, то оно получит отрицательный заряд. Таким образом, *тело заряжено отрицательно в том случае, если оно обладает избыточным, по сравнению с нормальным, числом электронов*.

А если нейтральное тело теряет электроны, то оно получает положительный заряд. Следовательно, *тело обладает положительным зарядом, если у него недостаточно электронов*.

Таким образом, тело электризуется, т. е. получает электрический заряд, когда оно приобретает или теряет электроны.

Когда эбонитовую палочку трут о шерсть, то она заряжается отрицательно, а шерсть при этом — положительно. Это объясняется тем, что при трении электроны переходят с шерсти на эбонит, т. е. с того вещества, в котором силы притяжения электронов к ядру атома меньше, на то вещество, в котором эти силы больше. Теперь в эбонитовой палочке будет избыток электронов, а в куске шерсти — недостаток.

Как показывает опыт, заряды шерсти и эбонитовой палочки равны по абсолютному значению. Ведь сколько электронов ушло с шерсти, столько же их прибавилось на эбоните. Значит,



Электризация:
а — стеклянной палочки трением о шёлк;
б — эбонитовой палочки трением о мех

при электризации тел заряды не создаются, а только разделяются. Часть отрицательных зарядов переходит с одного тела на другое. Экспериментально установлено, что при электризации тел выполняется **закон сохранения электрического заряда**.

Алгебраическая сумма электрических зарядов остаётся постоянной при любых взаимодействиях в замкнутой системе

$$q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n = \text{const},$$

где q — электрический заряд.

Замкнутой считают систему, в которую извне не входят и не выходят наружу электрические заряды.

Зная строение атома, можно объяснить существование проводников и диэлектриков. В атомах электроны находятся на разных расстояниях от ядра (см. рис. 40, *в*, ядро лития), удалённые электроны слабее притягиваются к ядру, чем ближние. Особенно слабо удерживаются удалённые электроны ядрами металлов. Поэтому в металлах электроны, наиболее удалённые от ядра, покидают своё место и свободно движутся между атомами. Эти электроны называют ***свободными электронами***. Те вещества, в которых есть свободные электроны, являются *проводниками*.

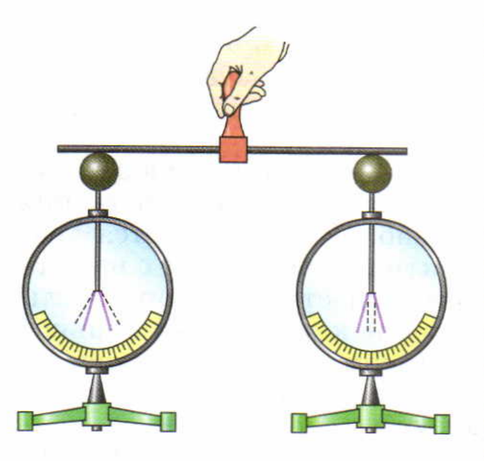


Рис. 41. Зарядка электроскопа с помощью металлического стержня

При помощи проводника — металлического стержня — соединим незаряженный электроскоп с отрицательно заряженным. Свободные электроны стержня окажутся в электрическом поле заряженного электроскопа и придут в движение по направлению к незаряженному электроскопу. В результате и этот электроскоп зарядится отрицательно (рис. 41).

В эбоните, резине, пластмассах и многих других неметаллах электроны прочно удерживают-

ся в своих атомах и не могут двигаться в электрическом поле. Поэтому такие вещества являются *непроводниками*, или *диэлектриками*.

Знания об электроне и строении атома позволяют объяснить явление притяжения ненаэлектризованных тел к наэлектризованным. Почему, например, притягивается к заряженной палочке гильза, которую мы предварительно не наэлектризовали? Ведь мы знаем, что электрическое поле действует только на заряженные тела.

Дело в том, что в гильзе есть свободные электроны. Как только гильза будет внесена в электрическое поле, *электроны придут в движение под действием сил поля*. Если палочка заряжена положительно, то электроны перейдут на тот конец гильзы, который расположен ближе к палочке. Этот конец зарядится отрицательно. На противоположном конце гильзы будет недостаток электронов, и этот конец окажется заряженным положительно (рис. 42, *а*). Отрицательно заряженный край гильзы ближе к палочке, поэтому гильза притянется к ней (рис. 42, *б*). Когда гильза коснётся палочки, то часть электронов с неё перейдёт на положи-

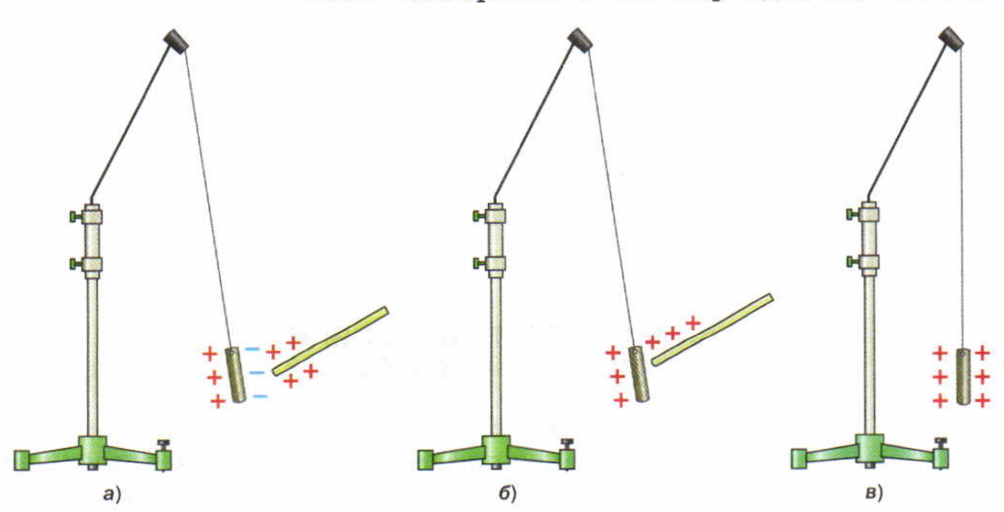


Рис. 42. Передача заряда от заряженной палочки незаряженной гильзе

тельно заряженную палочку. На гильзе останется нескомпенсированный положительный заряд (рис. 42, *в*).

Если заряд передают от заряженного шара к незаряженному и размеры шаров одинаковы, то заряд разделится пополам (см. рис. 39). Но если второй, незаряженный шар больше, чем первый, то на него перейдёт больше половины заряда. *Чем больше тело, которому передают заряд, тем большая часть заряда на него перейдёт.* На этом основано *заземление* — передача заряда земле. Земной шар велик по сравнению с телами, находящимися на нём. Поэтому при соприкосновении с землёй заряженное тело отдаёт ей почти весь свой заряд и практически становится электрически нейтральным.

? Вопросы 1. Объясните электризацию тел при соприкосновении. 2. Почему при электризации трением на телах появляются равные по абсолютному значению, но противоположные по знаку заряды? 3. Как передаётся гильзе заряд с тела, наэлектризованного отрицательно; положительно? 4. От чего зависит заряд, переходящий на ненаэлектризованное тело при соприкосновении его с наэлектризованным телом? 5. Почему при заземлении почти весь заряд тела уходит в землю?

УПРАЖНЕНИЕ 21

1. Почему можно наэлектризовать трением эбонитовую палочку, держа её в руке, а металлический стержень нельзя?
2. При наливании бензина корпус бензовоза при помощи металлического проводника обязательно соединяют с землёй. Зачем это делают?
3. Пластмассовая линейка, потёртая шерстяной тканью, получила отрицательный заряд. Избыток или недостаток электронов образовался на ткани?

§ 31 ПРОВОДНИКИ, ПОЛУПРОВОДНИКИ И НЕПРОВОДНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

При изучении тепловых явлений говорилось, что по способности проводить теплоту вещества делятся на хорошие и плохие проводники тепла.

По способности передавать электрические заряды вещества также делятся на несколько классов: *проводники*, *полупроводники* и *непроводники* электричества.

Проводниками называют тела, через которые электрические заряды могут переходить от заряженного тела к незаряженному.

Хорошие проводники электричества — это металлы, почва, вода с растворёнными в ней солями, кислотами или щелочами, графит. Тело человека также проводит электричество. Это можно обнаружить на опыте. Дотронемся до заряженного электроскопа рукой. Листочки тотчас опустятся. Заряд с электроскопа уходит по нашему телу через пол комнаты в землю.

Из металлов лучшие проводники электричества — серебро, медь, алюминий.

Непроводниками называют такие тела, через которые электрические заряды не могут переходить от заряженного тела к незаряженному.

Непроводниками электричества, или ***диэлектриками***, являются эбонит, янтарь, фарфор, резина, различные пластмассы, шёлк, капрон, масла, воздух (газы). Изготовленные из диэлектриков тела называют *изоляторами* (от итал. *изоляро* — уединять).

Полупроводниками называют тела, которые по способности передавать электрические заряды занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

В природе полупроводники распространены достаточно широко. Это оксиды и сульфиды металлов, некоторые органические вещества и др. Наибольшее применение в технике нашли германий и кремний.

Полупроводники при низкой температуре не проводят электрический ток и являются диэлектриками. Однако при повышении температуры в полупроводнике начинает резко увеличиваться число носителей электрического заряда, и он становится проводником.


а)
б)
Проводники электричества: *а* — железо; *б* — графит
а)
б)
Полупроводники: *а* — германий; *б* — кремний
а)
б)
Непроводники электричества: *а* — янтарь; *б* — фарфор

Почему это происходит? У полупроводников, таких как кремний и германий, в узлах кристаллической решётки атомы колеблются около своих положений равновесия, и уже при температуре 20 °С это движение становится настолько интенсивным, что химические связи между соседними атомами могут разорваться. При дальнейшем повышении температуры валентные электроны (электроны, находящиеся на внешней оболочке атома) атомов полупроводников становятся свободными, и под действием электрического поля в полупроводнике возникает электрический ток.

Характерной особенностью полупроводников является возрастание их проводимости *с повышением температуры*. У металлов же при повышении температуры проводимость уменьшается.

Способность полупроводников проводить электрический ток возникает также при воздействии на них света, потока быстрых частиц, введении примесей и др.

Изменение электропроводности полупроводников под действием температуры позволило применять их в качестве термометров для замера температуры окружающей среды, широко применяют в технике. С его помощью контролируют и поддерживают температуру на определённом уровне.

Повышение электропроводности вещества под воздействием света носит название *фотопроводимость*. Основанные на этом явлении приборы называют *фотосопротивлениями*. Фотосопротивления применяются для сигнализации и в управлении производственными процессами на расстоянии, сортировке изделий. С их помощью в экстренных ситуациях автоматически останавливаются станки и конвейеры, предупреждая несчастные случаи.

Благодаря удивительным свойствам полупроводников, они широко используются при создании транзисторов, тиристоров, полупроводниковых диодов, фоторезисторов и другой

сложнейшей аппаратуры. Применение интегральных микросхем в теле-, радио- и компьютерных приборах позволяет создавать устройства небольших, а порой и ничтожно малых размеров.



1. На какие группы делят вещества по способности передавать электрические заряды? **2.** Какой характерной особенностью обладают полупроводники? **3.** Перечислите области применения полупроводниковых приборов.



1. Почему заряженный электроскоп разряжается, если его шарика коснуться рукой?
2. Почему стержень электроскопа изготавливают из металла?
3. К шарику незаряженного электроскопа подносят тело, заряженное положительно, не касаясь его. Какой заряд возникнет на листочках электроскопа?

Это любопытно...

Полупроводники

Способность тела к электризации определяется наличием свободных зарядов. В полупроводниках концентрация носителей свободного заряда увеличивается с ростом температуры.

Проводимость, которая осуществляется свободными электронами (рис. 43), называется ***электронной проводимостью полупроводника*** или проводимостью *n-типа* (от лат. *negativus* — отрицательный). При отрыве электронов от атомов германия в местах разрыва образуются свободные места, которые не заняты электронами. Эти вакансии получили название «дырки». В области образования дырки возникает избыточный положительный заряд. Вакантное место может быть занято другим электроном.

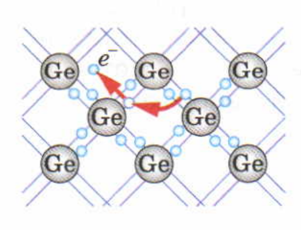


Рис. 43

Электрон, перемещаясь в полупроводнике, создаёт возможность заполнения одних дырок и образования других. Возникновение новой дырки сопровождается появлением свободного электрона, т. е. идёт непрерывное образование пар *электрон — дырка*. В свою очередь, заполнение дырок приводит к уменьшению числа свободных электронов. Если кристалл поместить в электрическое поле, то будет происходить перемещение не только элект-

ронов, но и дырок. Направление перемещения дырок противоположно направлению движения электронов.

Проводимость, которая возникает в результате перемещения дырок в полупроводнике, называется ***дырочной проводимостью*** или проводимостью *р-типа* (от лат. *positivus* — положительный). Полупроводники подразделяют на *чистые полупроводники, примесные полупроводники n-типа, примесные полупроводники р-типа.*

Чистые полупроводники обладают *собственной проводимостью*. В создании тока участвуют свободные заряды двух типов: отрицательные (электроны) и положительные (дырки). В чистом полупроводнике концентрация свободных электронов и дырок одинакова.

При введении в полупроводник примесей возникает *примесная проводимость*. Изменяя концентрацию примеси, можно менять и число носителей заряда того или иного знака, т. е. создавать полупроводники с преимущественной концентрацией отрицательного или положительного заряда. ***Примесные полупроводники n-типа*** обладают электронной проводимостью. Основными носителями заряда являются электроны, а неосновными — дырки.

Примесные полупроводники р-типа обладают дырочной проводимостью. Основными носителями заряда являются дырки, а неосновными — электроны.

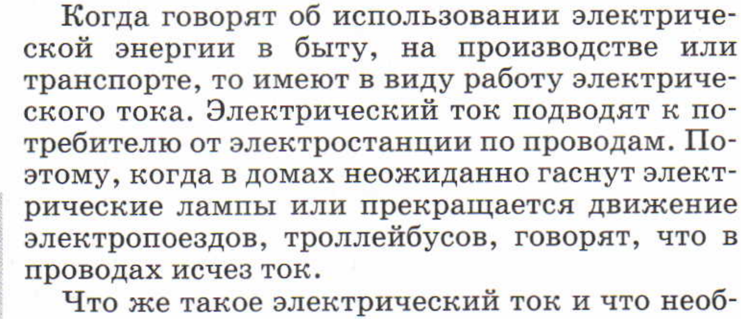

Полупроводниковый диод

Полупроводниковый диод представляет собой соединение полупроводников *р*- и *n*-типа. Сопротивление области контакта зависит от направления тока. Если диод включить в цепь, чтобы область кристалла с электронной проводимостью *n*-типа была подсоединена к положительному полюсу, а область с дырочной проводимостью *р*-типа к отрицательному полюсу, то тока в цепи не будет, так как переход электронов из *n*-области в *р*-область затрудняется.

Если *р*-область полупроводника подключить к положительному полюсу, а *n*-область к отрицательному, то в этом случае ток проходит через диод. За счёт диффузии основных носителей тока в чужой полупроводник в области контакта образуется двойной электрический слой, препятствующий движению зарядов. Внешнее поле, направленное от *р* к *n*, частично компенсирует действие этого слоя, и при увеличении напряжения ток быстро возрастает.

§ 32 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Когда говорят об использовании электрической энергии в быту, на производстве или транспорте, то имеют в виду работу электрического тока. Электрический ток подводят к потребителю от электростанции по проводам. Поэтому, когда в домах неожиданно гаснут электрические лампы или прекращается движение электропоездов, троллейбусов, говорят, что в проводах исчез ток.



Подача электрического тока потребителю

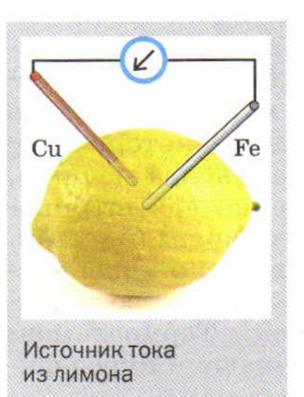
Что же такое электрический ток и что необходимо для его возникновения и существования в течение нужного нам времени?

Слово «ток» означает движение или течение чего-то.

Что может перемещаться в проводах, соединяющих электростанцию с потребителями электрической энергии?

Мы уже знаем, что в телах имеются электроны, движением которых объясняются различные электрические явления (см. § 30). Электроны обладают отрицательным электрическим зарядом. Электрическими зарядами могут обладать и более крупные частицы вещества — ионы. Следовательно, в проводниках могут перемещаться различные заряженные частицы.

Электрическим током называется упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.



Источник тока из лимона

Чтобы получить электрический ток в проводнике, надо создать в нём электрическое поле. Под действием этого поля заряженные частицы, которые могут свободно перемещаться в проводнике, придут в движение в направлении действия на них электрических сил. Возникнет электрический ток.

Чтобы электрический ток в проводнике существовал длительное время, необходимо всё

это время поддерживать в нём электрическое поле. Электрическое поле в проводниках создаётся и может длительное время поддерживаться *источниками электрического тока*.

Источники тока бывают различные, но во всяком из них совершается работа по разделению положительно и отрицательно заряженных частиц. Разделённые частицы накапливаются на ***полюсах*** источника тока. Так называют места, к которым с помощью клемм или зажимов подсоединяют проводники. Один полюс источника тока заряжается *положительно*, другой — *отрицательно*. Если полюсы источника соединить проводником, то под действием электрического поля свободные заряженные частицы в проводнике начнут двигаться в определённом направлении, возникнет электрический ток.



Рис. 44. Электрофорная машина

В источниках тока в процессе работы по разделению заряженных частиц происходит превращение механической, внутренней или какой-нибудь другой энергии в электрическую. Так, например, в ***электрофорной машине*** (рис. 44) в электрическую энергию превращается механическая энергия. Можно осуществить и превращение внутренней энергии в электрическую. Если две проволоки, изготовленные из разных металлов, спаять, а затем нагреть место спая, то в проволоках возникнет электрический ток (рис. 45). Такой источник тока называется ***термоэлементом***. В нём внутренняя энергия нагревателя превращается в электрическую энергию. При освещении некоторых веществ, например селена, оксида меди (I), кремния, наблюдается потеря отрицательного электрического заряда (рис. 46). Это явление называется ***фотоэффектом***. На нём основано устройство и действие ***фотоэлементов***. Термоэлементы и фотоэлементы изучают в курсе физики старших классов.

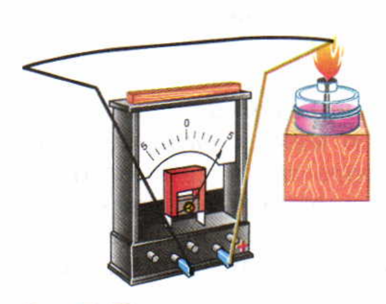


Рис. 45. Превращение внутренней энергии в электрическую

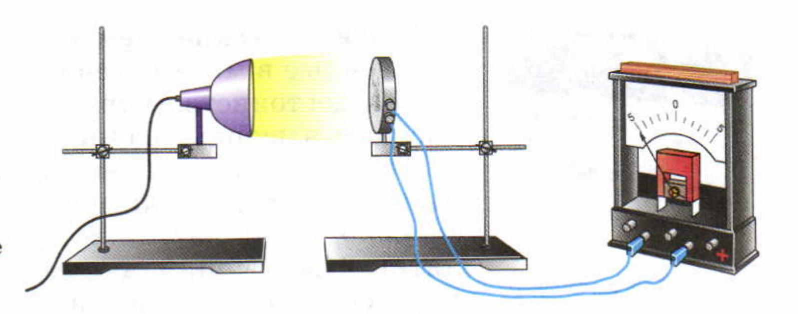


Рис. 46. Превращение энергии излучения в электрическую

Рассмотрим более подробно устройство и работу двух источников тока — ***гальванического элемента*** и ***аккумулятора***, которые будем использовать в опытах по электричеству.

В *гальваническом элементе* (рис. 47, *а*) происходят химические реакции, и внутренняя энергия, выделяющаяся при этих реакциях, превращается в электрическую. Изображённый на рисунке 47, *б* элемент состоит из цинкового сосуда (корпуса) Ц. В корпус вставлен угольный стержень У, у которого имеется металлическая крышка М. Стержень помещён в смесь оксида марганца (IV) MnO_2 и размельчённого углерода С. Пространство между цинковым корпусом и смесью оксида марганца с углеродом заполнено желеобразным раствором соли (хлорида аммония NH_4Cl) Р.

В ходе химической реакции цинка Zn с хлоридом аммония NH_4Cl цинковый сосуд становится отрицательно заряженным.

Оксид марганца несёт положительный заряд, а вставленный в него угольный стержень используется для передачи положительного заряда.

Между заряженными угольным стержнем и цинковым сосудом, которые называются ***электродами***, возникает электрическое поле. Если угольный стержень и цинковый сосуд соединить проводником, то по всей длине под действием электрического поля свободные электроны придут в упорядоченное движение. Возникнет электрический ток.



Рис. 47. Гальванический элемент (батарейка)

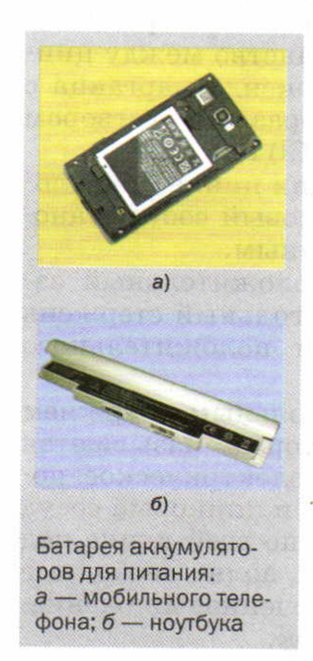


Рис. 48. Аккумулятор

Гальванические элементы — самые распространённые в мире источники постоянного тока. Их достоинством является удобство и безопасность в использовании.

В быту часто применяют батарейки, которые можно подзаряжать многократно, — *аккумуляторы* (от лат. *аккумуляторе* — накоплять). Простейший аккумулятор состоит из двух свинцовых пластин (электродов), помещённых в раствор серной кислоты.

Чтобы аккумулятор стал источником тока, его надо зарядить. Для зарядки через аккумулятор пропускают постоянный ток от какого-нибудь источника. В процессе зарядки в результате химических реакций один электрод становится положительно заряженным, а другой — отрицательно. Когда аккумулятор зарядится, его можно использовать как самостоятельный источник тока. Полюсы аккумуляторов обозначены знаками «+» и «–». При зарядке положительный полюс аккумулятора соединяют с положительным полюсом источника тока, отрицательный — с отрицательным полюсом.



Батарея аккумуляторов для питания: *а* — мобильного телефона; *б* — ноутбука

Кроме *свинцовых*, или *кислотных*, аккумуляторов широко применяют *железоникелевые*, или *щелочные*, аккумуляторы. В них используется раствор щёлочи и пластины — одна из спрессованного железного порошка, вторая — из пероксида никеля. На рисунке 48 изображён современный аккумулятор.

Аккумуляторы имеют широкое и разнообразное применение. Они служат для питания сети освещения железнодорожных вагонов, автомобилей, для запуска автомобильного двигателя. Батареи аккумуляторов питают электроэнергией подводную лодку под водой. Радиопередатчики и научная аппаратура на искусственных спутниках Земли также получают электропитание от аккумуляторов, установленных на спутнике.

На электростанциях электрический ток получают с помощью ***генераторов*** (от лат. *генератор* — создатель, производитель). Этот электрический ток используется в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве.

? Вопросы

1. Что такое электрический ток? 2. Что нужно создать в проводнике, чтобы в нём возник и существовал ток? 3. Какие превращения энергии происходят внутри источника тока? 4. Как устроен сухой гальванический элемент? 5. Что является положительным и отрицательным полюсами батареи? 6. Как устроен аккумулятор? 7. Где применяются аккумуляторы?

ЗАДАНИЕ

1. С помощью Интернета найдите, какие существуют типы зарядных устройств и выделите их особенности.
2. Подготовьте презентацию о применении аккумуляторов.

§ 33 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ И ЕЁ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ

Для того чтобы использовать энергию электрического тока, нужно прежде всего иметь *источник тока*.

Электродвигатели, лампы, плитки, всевозможные электробытовые приборы называют ***приёмниками*** или ***потребителями электрической энергии***.

Электрическую энергию нужно доставить к приёмнику. Для этого приёмник соединяют с источником электрической энергии *проводами*.

Чтобы включать и выключать в нужное время приёмники электрической энергии, применяют *ключи, рубильники, кнопки, выключатели*, т. е. замыкающие и размыкающие устройства.

Источник тока, приёмники, замыкающие устройства, соединённые между собой проводами, составляют *простейшую электрическую цепь*.

Чтобы в цепи был ток, она должна быть *замкнутой*, т. е. состоять только из проводников

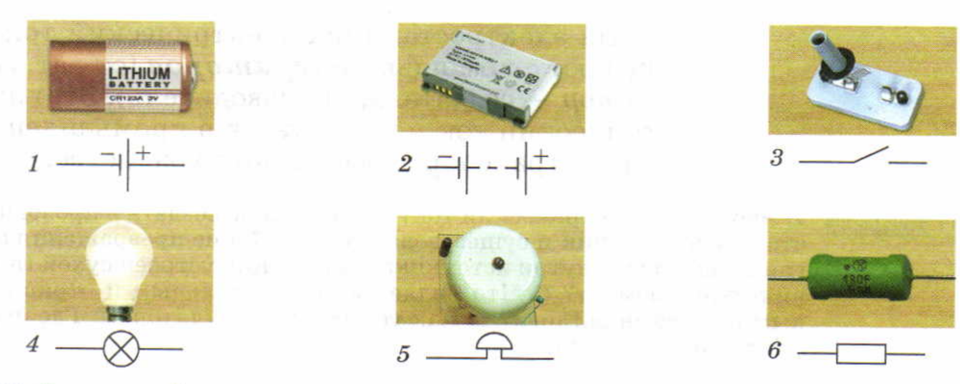


Рис. 49. Условные обозначения, применяемые на схемах: *1* — гальванический элемент или аккумулятор; *2* — батарея элементов и аккумуляторов; *3* — ключ; *4* — электрическая лампа; *5* — электрический звонок; *6* — резистор (проводник, имеющий определённое сопротивление)

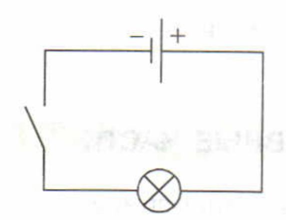


Рис. 50. Схема электрической цепи

электричества. Если в каком-нибудь месте провод оборвётся, то ток в цепи прекратится. (На этом и основано действие выключателей.)

Чертежи, на которых изображены способы соединения электрических приборов в цепь, называют ***схемами***. Приборы на схемах обозначают условными знаками (рис. 49). На рисунке 50 изображена схема простейшей электрической цепи.



Вопросы

1. Каково назначение источника тока в электрической цепи? **2.** Какие приёмники, или потребители, электрической энергии вы знаете? **3.** Из каких частей состоит электрическая цепь? **4.** Какую электрическую цепь называют замкнутой; разомкнутой?



УПРАЖНЕНИЕ 23

1. Начертите схему цепи, содержащей один гальванический элемент и два звонка, каждый из которых можно включать отдельно.
2. Придумайте схему соединения гальванического элемента, звонка и двух кнопок, расположенных так, чтобы можно было позвонить из двух разных мест.
3. На рисунке 51 дана схема соединения лампы и двух переключателей. Рассмотрите схему и подумайте, где можно применить такую проводку.

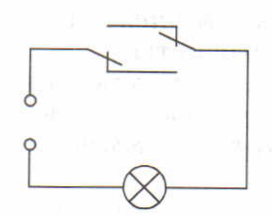


Рис. 51



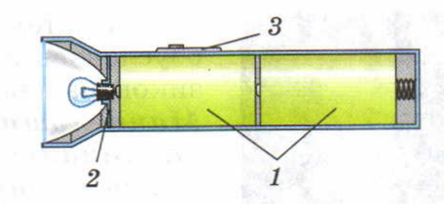


Рис. 52

4. Нарисуйте схему цепи карманного фонаря (рис. 52) и назовите части этой цепи. Какие элементы фонаря отмечены цифрами?

§ 34 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Металлы в твёрдом состоянии, как известно, имеют кристаллическое строение. Частицы в кристаллах расположены в определённом порядке, образуя пространственную (кристаллическую) решётку.

В узлах кристаллической решётки металла расположены *положительные ионы*, а в пространстве между ними движутся *свободные электроны*. Свободные электроны не связаны с ядрами своих атомов (рис. 53).

Отрицательный заряд всех свободных электронов по абсолютному значению равен положительному заряду всех ионов решётки. Поэтому в обычных условиях металл электрически нейтрален. Свободные электроны в нём движутся беспорядочно. Но если в металле создать электрическое поле, то свободные электроны начнут двигаться направленно под действием электрических сил. Возникнет электрический ток. Беспорядочное движение электронов при этом сохраняется, подобно тому как сохраняется беспорядочное движение в стайке мошкары, когда под действием ветра она перемещается в одном направлении.

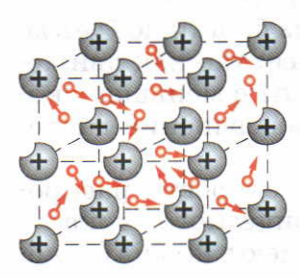


Рис. 53. Кристаллическая решётка металла

Итак, ***электрический ток в металлах представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.***



МАНДЕЛЬШТАМ ЛЕОНИД ИСААКОВИЧ

(1879—1944)

Российский физик, академик. Внёс существенный вклад в развитие радиофизики и радиотехники.

Доказательством того, что ток в металлах обусловлен электронами, явились опыты физиков нашей страны ***Леонида Исааковича Мандельштама*** и ***Николая Дмитриевича Папалекси***, а также американских физиков ***Бальфура Стюарта*** и ***Роберта Толмена***.

Скорость движения самих электронов в проводнике под действием электрического поля невелика — несколько миллиметров в секунду, а иногда и ещё меньше. Но как только в проводнике возникает электрическое поле, оно с огромной скоростью, близкой к скорости света в вакууме (300 000 км/с), распространяется по всей длине проводника.

Одновременно с распространением электрического поля все электроны начинают двигаться в одном направлении по всей длине проводника. Так, например, при замыкании цепи электрической лампы в упорядоченное движение приходят и электроны, имеющиеся в спирали лампы.



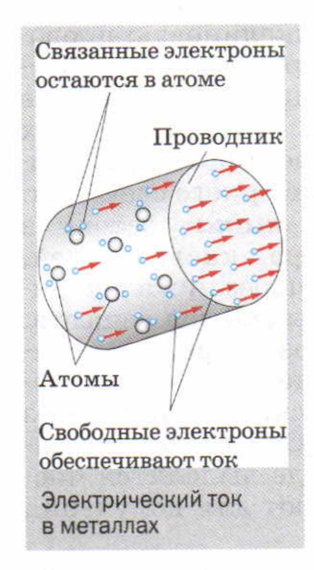
ПАПАЛЕКСИ НИКОЛАЙ ДМИТРИЕВИЧ

(1880—1947)

Российский физик, академик. Занимался исследованиями в области радиотехники, радиофизики, радиоастрономии.

Понять это поможет сравнение электрического тока с течением воды в водопроводе, а распространения электрического поля — с распространением давления воды. При подъёме воды в водонапорную башню давление (напор) воды очень быстро распространяется по всей водопроводной системе. Когда мы открываем кран, то вода уже находится под давлением и сразу начинает течь. Но из крана течёт та вода, которая была в нём, а вода из башни дойдёт до крана много позднее, так как движение воды происходит с меньшей скоростью, чем распространение давления.

Когда говорят о скорости распространения электрического тока в проводнике, то имеют в виду скорость распространения по проводнику электрического поля.



Электрический ток в металлах

Электрический сигнал, посланный, например, по проводам из Москвы во Владивосток (s = 8000 км), приходит туда примерно через 0,03 с.



1. Как объяснить, что в обычных условиях металл электрически нейтрален? 2. Что происходит с электронами металла при возникновении в нём электрического поля? 3. Что представляет собой электрический ток в металле? 4. Какую скорость имеют в виду, когда говорят о скорости распространения электрического тока в проводнике?

ЗАДАНИЕ

- Используя Интернет, найдите, с какой скоростью движутся электроны в металлах. Сравните её со скоростью света.

§ 35 ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Мы не можем видеть движущиеся в металлическом проводнике электроны. О наличии электрического тока в цепи мы можем судить лишь по различным явлениям, которые вызывает электрический ток. Такие явления называют ***действиями тока***. Некоторые из этих действий легко наблюдать на опыте.

Тепловое действие тока можно наблюдать, например, присоединив к полюсам источ-

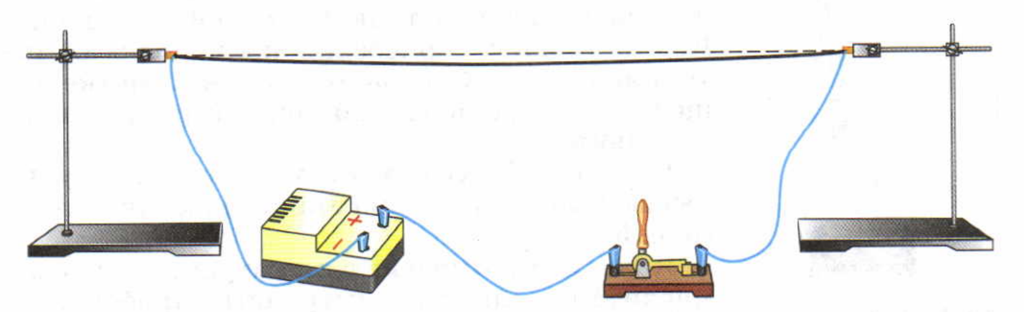


Рис. 54. Тепловое действие тока

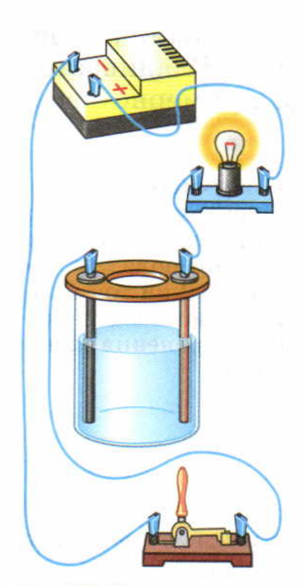


Рис. 55. Химическое действие тока

ника тока железную или никелиновую проволоку (рис. 54). Проволока при этом нагревается и, удлинившись, слегка провисает. Её даже можно раскалить докрасна. В электрических лампах, например, тонкая вольфрамовая проволочка нагревается током до яркого свечения.

Химическое действие тока состоит в том, что в некоторых растворах кислот (солей, щелочей) при прохождении через них электрического тока наблюдается выделение веществ. Вещества, содержащиеся в растворе, откладываются на электродах, опущенных в этот раствор. Например, при пропускании тока через раствор медного купороса ($CuSO_4$) на отрицательно заряженном электроде выделится чистая медь (Cu). Это используют для получения чистых металлов (рис. 55).

Магнитное действие тока также можно наблюдать на опыте. Для этого медный провод, покрытый изоляционным материалом, нужно намотать на железный гвоздь, а концы провода соединить с источником тока (рис. 56). Когда цепь замкнута, гвоздь становится магнитом (намагничивается) и притягивает небольшие железные предметы: гвоздики, железные стружки, металлические опилки. С исчезновением тока в обмотке (при размыкании цепи) гвоздь размагничивается.

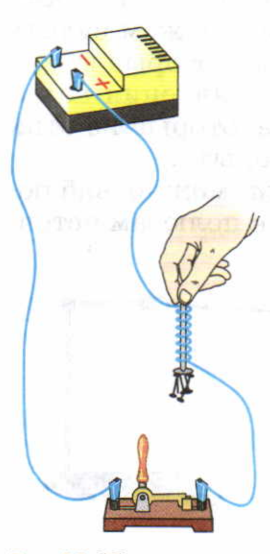


Рис. 56. Магнитное действие тока

Рассмотрим теперь взаимодействие между проводником с током и магнитом.

На рисунке 57 изображена висящая на нитях небольшая рамочка, на которую навито несколько витков тонкой медной проволоки. Концы обмотки присоединены к полюсам источника тока. Следовательно, в обмотке существует электрический ток, но рамка висит неподвижно.

Если эту рамку поместить теперь между полюсами магнита, то она станет поворачиваться (рис. 58).

Явление взаимодействия катушки с током и магнита используют в устройстве прибора, называемого ***гальванометром***.

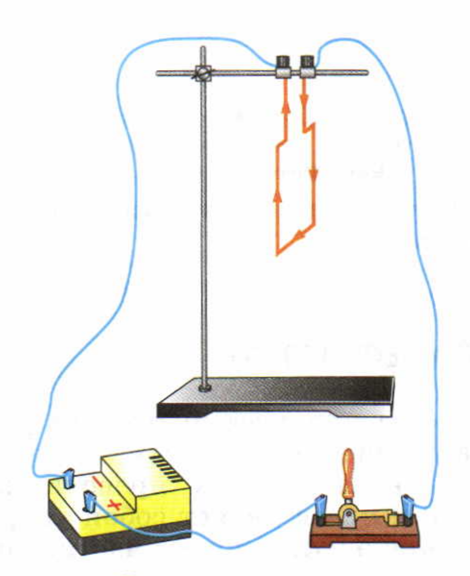


Рис. 57. Рамка с током неподвижна

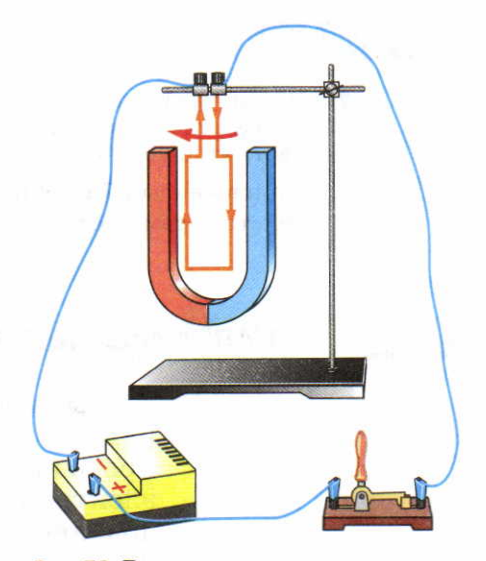
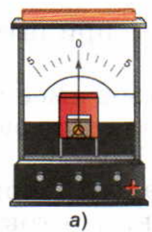


Рис. 58. Рамка с током между полюсами магнита поворачивается



а)



б)

Рис. 59. Гальванометр

На рисунке 59, *а* показан внешний вид школьного гальванометра, а на рисунке 59, *б* — его условное изображение на схемах. Стрелка гальванометра связана с подвижной катушкой, находящейся в магнитном поле. Когда в катушке существует ток, стрелка отклоняется. Таким образом, с помощью гальванометра можно судить о наличии тока в цепи.

Следует заметить, что из всех рассмотренных нами действий электрического тока магнитное действие тока наблюдается всегда, какой бы проводник тока ни был — твёрдый, жидкий или газообразный.



1. Как можно наблюдать на опыте тепловое действие тока? **2.** Как можно наблюдать на опыте химическое действие тока? **3.** Где используют тепловое и химическое действия тока? **4.** На каком опыте можно показать магнитное действие тока? **5.** Какое действие тока используют в устройстве гальванометра?



ЗАДАНИЕ

1. Рассмотрите рисунок 56, на котором изображена установка для наблюдения магнитного действия тока. Что представляет собой каждая часть этой установки? Расскажите, как протекает опыт.
2. По рисункам 57 и 58 расскажите, как на опыте наблюдают взаимодействие рамки с током и магнита.

§ 36 НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Мы знаем, что электрический ток есть упорядоченное движение заряженных частиц в проводнике. В металлических проводниках электрический ток представляет собой упорядоченное движение электронов — частиц, обладающих отрицательным зарядом. В растворах кислот, солей, щелочей электрический ток обусловлен движением ионов обоих знаков.

Движение каких заряженных частиц в электрическом поле следовало бы принять за направление тока?



Направление тока в проводнике

Так как в большинстве случаев мы имеем дело с электрическим током в металлах, то за направление тока в цепи разумно было бы принять направление движения электронов в электрическом поле, т. е. считать, что ток направлен от отрицательного полюса источника к положительному.

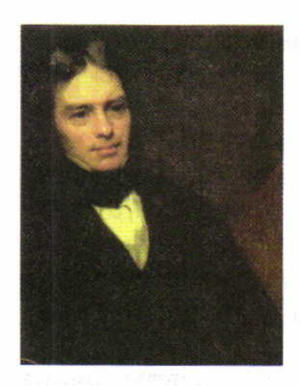
Однако вопрос о направлении тока возник в науке тогда, когда об электронах и ионах ещё ничего не было известно. В то время предполагали, что *во всех* проводниках могут перемещаться как положительные, так и отрицательные электрические заряды.

За направление тока условно приняли то направление, по которому движутся (или могли бы двигаться) в проводнике положительные заряды, т. е. направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.

Это учтено во всех правилах и законах электрического тока.

? Вопросы 1. Направление движения каких частиц в проводнике принято за направление тока? 2. От какого полюса источника тока и к какому принято считать направление тока? 3. Правильно ли показано стрелками направление тока в рамках на рисунках 57 и 58?

§ 37 СИЛА ТОКА. ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ТОКА



АМПЕР АНДРЕ МАРИ

(1775—1836)

Французский физик и математик, создал первую теорию, которая выражала связь электрических и магнитных явлений. Ввёл в физику понятие «электрический ток».

Действия электрического тока, которые были описаны в § 35, могут проявляться в разной степени — сильнее или слабее. Опыты показывают, что интенсивность (степень действия) электрического тока зависит от заряда, проходящего по цепи в 1 с.

Когда свободная заряженная частица — электрон в металле или ион в растворе кислот, солей или щелочей — движется по электрической цепи, то вместе с ней происходит и перемещение заряда. Чем больше частиц переместится от одного полюса источника тока к другому или просто от одного конца участка цепи к другому, тем больше общий заряд q, перенесённый частицами.

Электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника в 1 с, определяет ***силу тока*** в цепи.

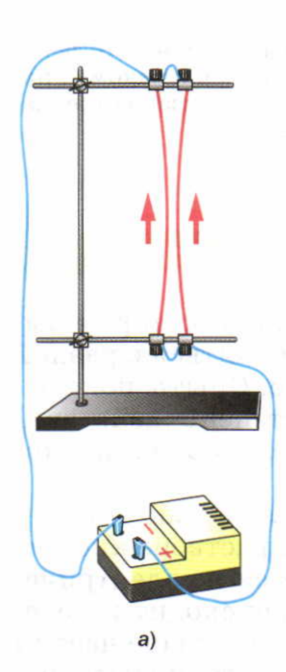
Значит, *сила тока равна отношению электрического заряда q, прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени его прохождения t*, т. е.

$$I = \frac{q}{t},$$

где I — сила тока.

$$I = \frac{q}{t}$$

На Международной конференции по мерам и весам в 1948 г. было решено в основу определения *единицы силы тока* положить явление взаимодействия двух проводников с током. Ознакомимся сначала с этим явлением на опыте.



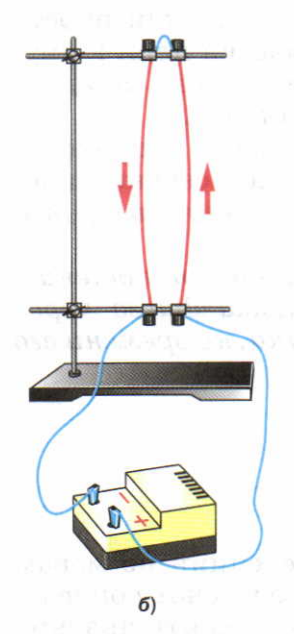


Рис. 60. Взаимодействие проводников с током

На рисунке 60 изображены два гибких прямых проводника, расположенных параллельно друг другу. Оба проводника подсоединены к источнику тока. При замыкании цепи по проводникам протекает ток, вследствие чего они взаимодействуют — притягиваются или отталкиваются, в зависимости от направления токов в них.

Силу взаимодействия проводников с током можно измерить. Эта сила, как показывают расчёты и опыты, зависит *от длины проводников, расстояния между ними, среды, в которой находятся проводники*, и, что самое важное для нас, *от силы тока в проводниках*. Если одинаковы все условия, кроме силы токов, то, чем больше сила тока в каждом проводнике, тем с большей силой они взаимодействуют между собой.

Представим теперь себе, что взяты очень тонкие и очень длинные параллельные проводники. Расстояние между ними 1 м, и находятся они в вакууме. Сила тока в них одинакова.

За единицу силы тока принимают силу тока, при которой отрезки таких параллельных проводников длиной 1 м *взаимодействуют с силой* $2 \cdot 10^{-7}$ Н (0,0000002 Н).

Эту единицу силы тока называют *ампером* **(А)**. Так она названа в честь французского учёного ***Андре Ампера***.

Применяют также дольные и кратные единицы силы тока: *миллиампер* **(мА)**, *микроампер* **(мкА)**, *килоампер* **(кА)**.

$$1\ \text{мА} = 0{,}001\ \text{А};$$
$$1\ \text{мкА} = 0{,}000001\ \text{А};$$
$$1\ \text{кА} = 1000\ \text{А}.$$

Чтобы представить себе, что такое ампер, приведём примеры: сила тока в спирали лампы карманного фонаря 0,25 А = 250 мА. В осветительных лампах, используемых в наших квар-

тирах, сила тока составляет от 7 до 400 мА (в зависимости от мощности лампы).

Через единицу силы тока — 1 А определяется единица электрического заряда — 1 Кл, о которой было сказано в § 28.

Так как $I = \frac{q}{t}$, то $q = It$. Полагая $I = 1$ А, $t = 1$ с, получим единицу электрического заряда — 1 Кл.

1 кулон = 1 ампер × 1 секунду,

или

1 Кл = 1 А · 1 с = 1 А · с.

***За единицу электрического заряда принимают электрический заряд, проходящий сквозь поперечное сечение проводника при силе тока* 1 А *за время* 1 с.**

Из формулы $q = It$ следует, что электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника, зависит от силы тока и времени его прохождения. Например, в осветительной лампе, в которой сила тока равна 400 мА, сквозь поперечное сечение спирали за 1 мин проходит электрический заряд, равный 24 Кл.

Электрический заряд имеет также другое название — ***количество электричества***.



Сила тока в различных потребителях электроэнергии



1. От чего зависит интенсивность действий электрического тока?
2. Какой величиной определяется сила тока в электрической цепи?
3. Как выражается сила тока через электрический заряд и время?
4. Что принимают за единицу силы тока? Как называется эта едини-

ца? 5. Какие дольные и кратные амперу единицы силы тока вы знаете? 6. Как выражается электрический заряд (количество электричества) через силу тока в проводнике и время его прохождения?



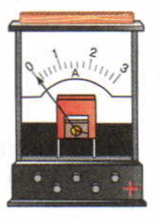
1. Выразите в амперах силу тока, равную 2000 мА; 100 мА; 55 мА; 3 кА.
2. Сила тока в цепи электрической плитки равна 1,4 А. Какой электрический заряд проходит через поперечное сечение её спирали за 10 мин?
3. Сила тока в цепи электрической лампы равна 0,3 А. Сколько электронов проходит через поперечное сечение спирали за 5 мин?

§ 38 АМПЕРМЕТР. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

Силу тока в цепи измеряют прибором, называемым ***амперметром***. Амперметр — это тот же гальванометр, только приспособленный для измерения силы тока, его шкала проградуирована в амперах (рис. 61, *а*).

На шкале амперметра обычно ставят букву А. На схемах его изображают кружком с буквой А (рис. 61, *б*).

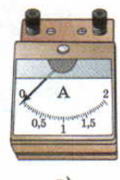
При включении в цепь амперметр, как всякий измерительный прибор, не должен влиять на измеряемую величину. Поэтому он устроен так, что при включении его в цепь сила тока в ней почти не изменяется. Амперметр, используемый в школе для демонстрационных опытов, изображён на рисунке 61, *а*, для лабораторных работ — на рисунке 61, *в*. В технике используются амперметры с разной ценой деления, в зависимости от назначения. По



а)



б)



в)

Рис. 61. Амперметр

шкале амперметра видно, на какую наибольшую силу тока он рассчитан. Превышать эту силу тока нельзя, так как прибор может испортиться.

При измерении силы тока *амперметр включают в цепь последовательно с тем прибором, силу тока в котором измеряют*.

Включают амперметр в цепь с помощью двух клемм, или зажимов, имеющихся на приборе. У одной из клемм амперметра стоит знак «+», у другой — «–» (иногда знака «–» нет). Клемму со знаком «+» нужно обязательно соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока.

В цепи, состоящей из источника тока и ряда проводников, соединённых так, что конец одного проводника соединяется с началом другого, *сила тока во всех участках одинакова*. Это следует из того, что заряд, проходящий через любое поперечное сечение проводников цепи в 1 с, одинаков. Когда в цепи существует ток, то заряд нигде в проводниках цепи не накапливается, подобно тому как нигде в отдельных частях трубы не собирается вода, когда она течёт по трубе. Поэтому при измерении силы тока амперметр можно включать в любое место цепи, состоящей из ряда последовательно соединённых проводников, так как сила тока во всех точках цепи одинакова. Если включить один амперметр в цепь до лампы, другой после неё, то оба они покажут одинаковую силу тока (рис. 62).

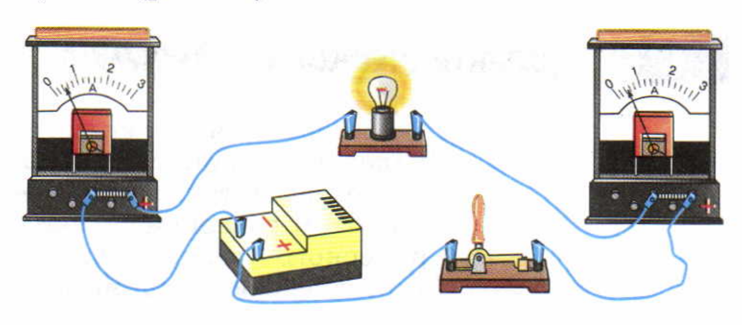


Рис. 62. Измерение силы тока на разных участках цепи

Сила тока — очень важная характеристика электрической цепи. Работающим с электрическими цепями надо знать, что для человеческого организма безопасной считается сила тока до 1 мА. Сила тока больше 100 мА приводит к серьёзным поражениям организма.

? Вопросы 1. Как называют прибор для измерения силы тока? 2. В каких единицах градуируют шкалу амперметра? 3. Как включают амперметр в цепь?

УПРАЖНЕНИЕ 25

1. При включении в цепь амперметра так, как показано на рисунке 63, *а*, сила тока была 0,5 А. Каковы будут показания амперметра при включении его в ту же цепь так, как изображено на рисунке 63, *б*?

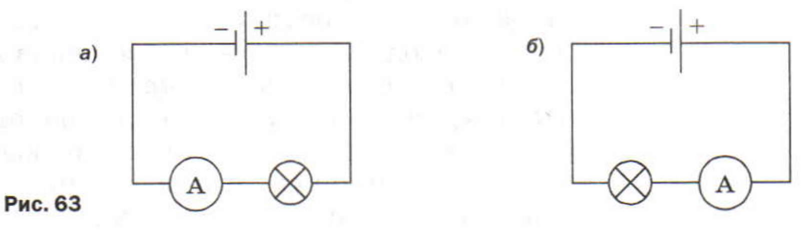


Рис. 63

2. Как можно проверить правильность показаний амперметра с помощью другого амперметра, точность показаний которого проверена?
3. Рассмотрите амперметры, данные на рисунках 61, 62. Определите цену деления шкалы каждого амперметра. Какую наибольшую силу тока они могут измерять? Перерисуйте шкалу амперметра (см. рис. 61, *а*) в тетрадь и покажите, каково будет положение стрелки при силе тока 0,3 А и 1,5 А.
4. Имеется точный амперметр. Как, пользуясь им, нанести шкалу на другой, ещё не проградуированный амперметр?

§ 39 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Мы знаем, что электрический ток — это упорядоченное движение заряженных частиц, которое создаётся электрическим полем, а оно при этом совершает работу. Работу сил электрического поля, создающего электрический ток, называют ***работой тока***. В процессе та-

кой работы энергия электрического поля превращается в другой вид энергии — механическую, внутреннюю и др.

От чего же зависит работа тока? Можно с уверенностью сказать, что она зависит от *силы тока*, т. е. от *электрического заряда*, протекающего по цепи в 1 с. В этом мы убедились, знакомясь с различными действиями тока (см. § 35). Например, пропуская ток по железной или никелиновой проволоке, мы видели, что чем больше была сила тока, тем выше становилась температура проволоки, т. е. сильнее было тепловое действие тока.

Но не только от одной силы тока зависит работа тока. Она зависит ещё и от другой величины, которую называют ***электрическим напряжением*** или просто ***напряжением***.

Напряжение — это физическая величина, характеризующая электрическое поле. Оно обозначается буквой U. Чтобы ознакомиться с этой очень важной физической величиной, обратимся к опыту.

На рисунке 64 изображена электрическая цепь, в которую включена лампочка от карманного фонарика. *Источником тока здесь служит батарейка*. На рисунке 64, *б* показана другая цепь, в неё включена лампа, используемая для освещения помещений. *Источником*

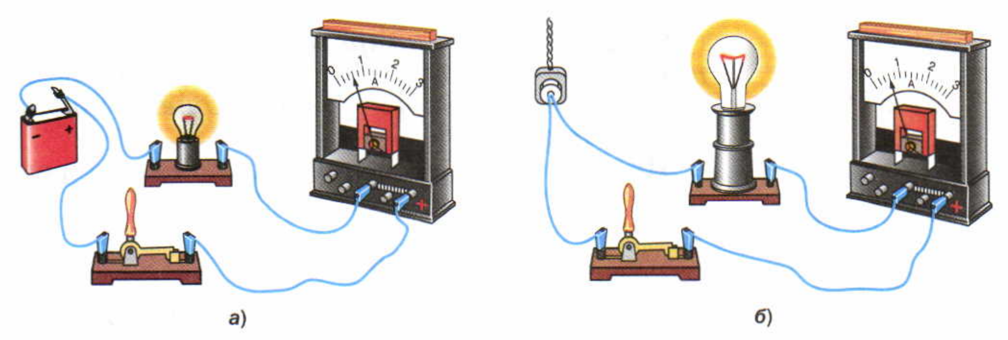


Рис. 64. Различное свечение ламп при одной и той же силе тока: *а* — источник тока — батарейка; *б* — источник тока — городская сеть

тока в этой цепи является городская осветительная сеть. Амперметры, включённые в указанные цепи, показывают одинаковую силу тока в обеих цепях. Однако лампа, включённая в городскую сеть, даёт гораздо больше света и тепла, чем лампочка от карманного фонаря. Объясняется это тем, что *при одинаковой силе тока работа тока на этих участках цепи при перемещении электрического заряда, равного* 1 Кл, *различна.* Эта работа тока и определяет новую физическую величину, называемую ***электрическим напряжением.***

Напряжение, которое создаёт батарейка, значительно меньше напряжения городской сети. Именно поэтому при одной и той же силе тока лампочка, включённая в цепь батарейки, даёт меньше света и тепла.

Напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле при перемещении единичного положительного заряда из одной точки в другую.

$$U = \frac{A}{q}$$

Зная работу тока A на данном участке цепи и весь электрический заряд q, прошедший по этому участку, можно определить напряжение U, т. е. *работу тока при перемещении единичного электрического заряда*:

$$U = \frac{A}{q}.$$

$$A = Uq$$

Следовательно, *напряжение равно отношению работы тока на данном участке к электрическому заряду, прошедшему по этому участку.*

Из предыдущей формулы можно определить:

$$A = Uq, \quad q = \frac{A}{U}.$$

$$q = \frac{A}{U}$$

Электрический ток подобен течению воды в реках и водопадах, т. е. течению воды с более высокого уровня на более низкий. Здесь элект-

рический заряд (количество электричества) соответствует массе воды, протекающей через сечение реки, а напряжение — разности уровней, напору воды в реке. Работа, которую совершает вода, падая, например, с плотины, зависит от массы воды и высоты её падения. Работа тока зависит от электрического заряда, протекающего через сечение проводника, и от напряжения на этом проводнике. Чем больше разность уровней воды, тем большую работу совершает вода при своём падении; чем больше напряжение на участке цепи, тем больше работа тока. В озёрах и прудах уровень воды всюду одинаков, и там вода не течёт; если в электрической цепи нет напряжения, то в ней нет и электрического тока.

? Вопросы

1. Опишите опыт, который доказывает, что работа тока зависит не только от силы тока, но и от напряжения. **2.** Что такое электрическое напряжение? Как можно определить его через работу тока и электрический заряд?

§ 40 ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Единица напряжения названа *вольтом* (**В**) в честь итальянского учёного ***Алессандро Вольта***, создавшего первый гальванический элемент.

За единицу напряжения принимают такое электрическое напряжение на концах проводника, при котором работа по перемещению электрического заряда в 1 Кл по этому проводнику равна 1 Дж.

$$1\ \text{В} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

Кроме вольта применяют дольные и кратные ему единицы: *милливольт* (**мВ**) и *киловольт* (**кВ**).

$$1\ \text{мВ} = 0{,}001\ \text{В};$$
$$1\ \text{кВ} = 1000\ \text{В}.$$



ВОЛЬТА АЛЕССАНДРО

(1745—1827)

Итальянский физик, один из основателей учения об электрическом токе, создал первый гальванический элемент.

Высокое (большое) напряжение опасно для жизни. Допустим, что напряжение между одним проводом высоковольтной линии передачи и землёй 100 000 В. Если этот провод соединить каким-нибудь проводником с землёй, то при прохождении через него электрического заряда в 1 Кл будет совершена работа, равная 100 000 Дж. Примерно такую же работу совершит груз массой 1000 кг при падении с высоты 10 м. Он может произвести большие разрушения. Этот пример показывает, почему так опасен ток высокого напряжения.

Но осторожность надо соблюдать и в работе с более низкими напряжениями. В зависимости от условий напряжение даже в несколько десятков вольт может оказаться опасным. Для работы в помещении безопасным считают напряжение не более 42 В.



1,25 В



220 В



500 000 В



До 1 000 000 В

Напряжение в некоторых технических устройствах и в природе

Гальванические элементы создают невысокое напряжение. Поэтому в осветительной сети используется электрический ток от генераторов, создающих напряжение 127 и 220 В, т. е. вырабатывающих значительно бóльшую энергию.

? Вопросы **1.** Что принимают за единицу напряжения? **2.** Какое напряжение используют в осветительной сети? **3.** Чему равно напряжение на полюсах сухого элемента и кислотного аккумулятора? **4.** Какие единицы напряжения, кроме вольта, применяют на практике?

§ 41 ВОЛЬТМЕТР. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Для измерения напряжения на полюсах источника тока или на каком-нибудь участке цепи применяют прибор, называемый ***вольтметром***.

Вольтметр, используемый в школьных опытах, показан на рисунке 65, *а*, в лабораторных работах — на рисунке 65, *в*.

Многие вольтметры по внешнему виду очень похожи на амперметры. Для отличия вольтметра от других электроизмерительных приборов на его шкале ставят букву V. На схемах вольтметр изображают кружком с буквой V внутри (рис. 65, *б*).

Как и у амперметра, у одного зажима вольтметра ставят знак «+». Этот зажим необходимо обязательно соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока. Иначе стрелка прибора будет отклоняться в обратную сторону.

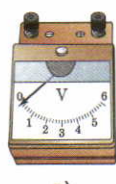
Вольтметр включается иначе, чем амперметр. На рисунке 66, *а* изображена электрическая цепь, в которую включены электрическая лампа, амперметр и вольтметр. На рисунке 66, *б* показана схема такой цепи. Амперметром в этой цепи измеряют силу тока в лампе, для этого он включён в цепь последовательно с ней. Вольтметр должен показывать напряжение, существующее на зажимах лампы.



а)



б)



в)



Рис. 65. Вольтметр

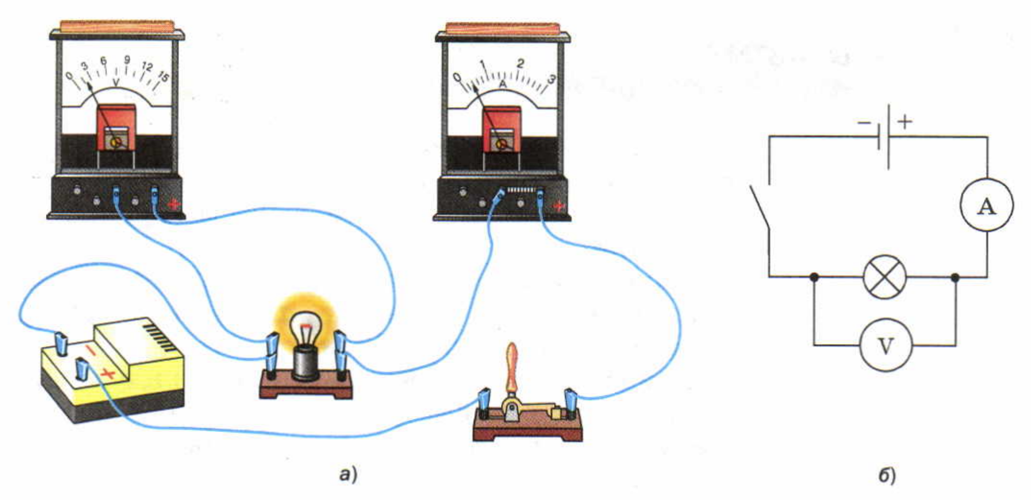


Рис. 66. Подключение вольтметра и амперметра в цепь

Поэтому его включают в цепь не последовательно с лампой, а так, как показано на рисунке 66, *а* и на схеме (см. рис. 66, *б*). *Зажимы вольтметра присоединяют к тем точкам цепи, между которыми надо измерить напряжение.* Такое включение прибора называют ***параллельным***. Параллельное соединение проводников будет рассмотрено в § 49. Отметим только, что сила тока, проходящего через вольтметр, мала по сравнению с силой тока в цепи, поэтому он почти не изменяет напряжение между теми точками, к которым подключён.

Для измерения напряжения на полюсах источника тока вольтметр подключают непосредственно к зажимам источника тока так, как показано на рисунке 67.

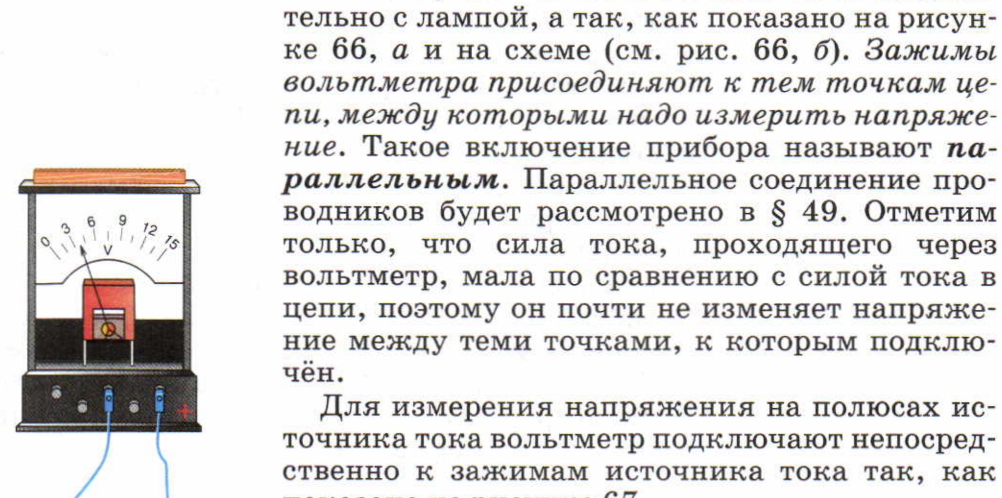




Рис. 67. Подключение вольтметра к источнику тока

? Вопросы

1. Как называют прибор для измерения напряжения? **2.** Как включают вольтметр для измерения напряжения на участке цепи? **3.** Как с помощью вольтметра измерить напряжение на полюсах источника тока? **4.** Какой должна быть сила тока, проходящего через вольтметр, по сравнению с силой тока в цепи?

УПРАЖНЕНИЕ 26

1. Рассмотрите шкалу вольтметра (см. рис. 65, *а*). Определите цену деления. Перечертите в тетрадь его шкалу и нарисуйте положение стрелки при напряжении 4,5 В; 7,5 В; 10,5 В.
2. Определите цену деления шкалы вольтметра, изображённого на рисунке 66, *а*. Какое напряжение он показывает?
3. Начертите схему цепи, состоящей из аккумулятора, лампы, ключа, амперметра и вольтметра, для случая, когда вольтметром измеряют напряжение на полюсах источника тока.

§ 42 ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

Различные действия тока, такие как нагревание проводника, магнитные и химические действия, зависят от силы тока. Изменяя силу тока в цепи, можно регулировать эти действия. Но чтобы управлять током в цепи, надо знать, от чего зависит сила тока в ней.

Мы знаем, что электрический ток в цепи — это упорядоченное движение заряженных частиц в электрическом поле. Чем сильнее действие электрического поля на эти частицы, тем, очевидно, и больше сила тока в цепи.

Но действие поля характеризуется физической величиной — напряжением (§ 39). Поэтому можно предположить, что *сила тока зависит от напряжения*. Установим эту зависимость на опыте.

На рисунке 68, *а* изображена электрическая цепь, состоящая из источника тока, амперметра, спирали из никелиновой проволоки (проводника), ключа и параллельно присоединённого к спирали вольтметра. На рисунке 68, *б* показана схема этой цепи (прямоугольником условно обозначен проводник).

Замыкают цепь и отмечают показания приборов. Затем присоединяют к первому источ-

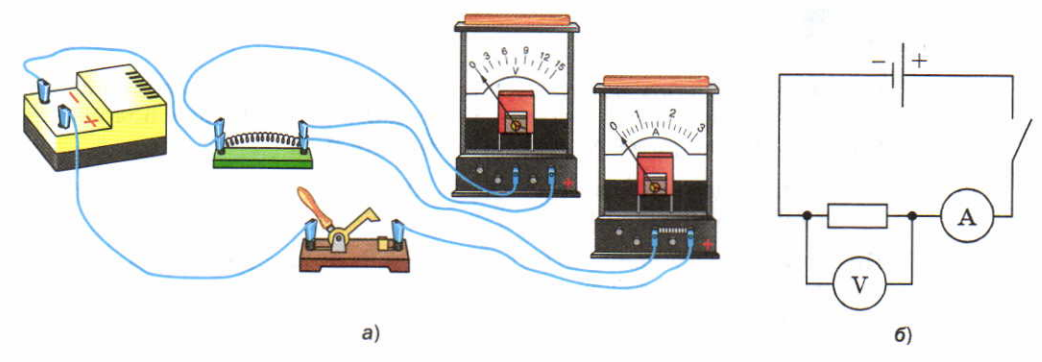


Рис. 68. Установка для определения зависимости силы тока от напряжения

нику второй такой же источник питания и снова замыкают цепь. Напряжение на спирали при этом увеличится вдвое, и амперметр покажет вдвое большую силу тока. При трёх источниках напряжение на спирали увеличивается втрое, во столько же раз увеличивается сила тока.

Таким образом, опыт показывает, что во сколько раз увеличивается напряжение, приложенное к одному и тому же проводнику, во столько же раз увеличивается сила тока в нём. Другими словами, ***сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника.***

На рисунке 69 показан график зависимости силы тока в проводнике от напряжения между концами этого проводника.

На графике в условно выбранном масштабе по горизонтальной оси отложено напряжение в вольтах, а по вертикальной — сила тока в амперах.

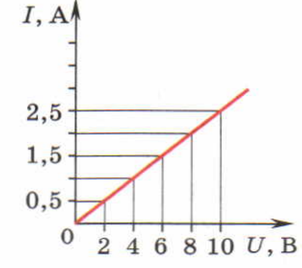


Рис. 69. График зависимости силы тока в проводнике от напряжения



1. Как на опыте показать зависимость силы тока от напряжения? **2.** Как зависит сила тока в проводнике от напряжения на концах проводника? **3.** Какой вид имеет график зависимости силы тока от напряжения? Какую зависимость между величинами он отражает?

УПРАЖНЕНИЕ 27

1. При напряжении на концах участка цепи, равном 2 В, сила тока в проводнике 0,4 А. Каким должно быть напряжение, чтобы в том же проводнике сила тока была 0,8 А?
2. При напряжении на концах проводника 2 В сила тока в проводнике 0,5 А. Какой будет сила тока в проводнике, если напряжение на его концах увеличится до 4 В; если напряжение на его концах уменьшится до 1 В?

§ 43 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ. ЕДИНИЦЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Включая в электрическую цепь какого-нибудь источника тока различные проводники и амперметр, можно заметить, что при разных проводниках показания амперметра различны, т. е. сила тока в данной цепи различна. Так, например, если вместо железной проволоки *AB* (рис. 70) включить в цепь такой же длины и сечения никелиновую проволоку *CD*, то сила тока в цепи уменьшится, а если включить медную *EF*, то сила тока значительно увеличится.

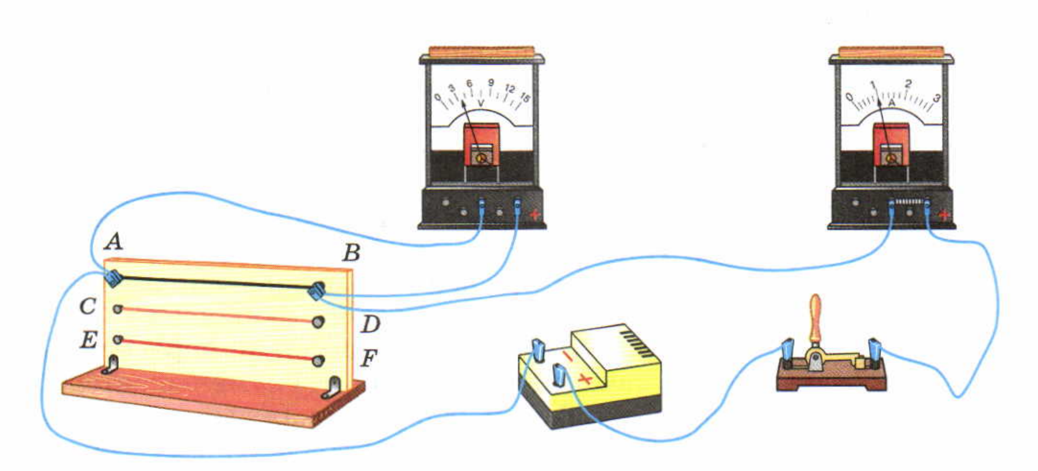


Рис. 70. Зависимость силы тока от свойств проводников

Вольтметр, поочерёдно подключаемый к концам этих проводников, показывает одинаковое напряжение. Значит, *сила тока в цепи зависит* не только от напряжения, но и *от свойств проводников*, включённых в цепь. Зависимость силы тока от свойств проводника объясняется тем, что разные проводники обладают различным ***электрическим сопротивлением***.

Электрическое сопротивление — физическая величина. Обозначается оно буквой R.

За единицу сопротивления принимают 1 *ом — сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на концах* 1 *вольт сила тока равна* 1 *амперу*. Кратко это записывают так:

$$\mathbf{1\ Ом = \frac{1\ В}{1\ А}}.$$

Применяют и другие единицы сопротивления: *миллиом* **(мОм)**, *килоом* **(кОм)**, *мегаом* **(МОм)**.

$$1\ мОм = 0{,}001\ Ом;$$
$$1\ кОм = 1000\ Ом;$$
$$1\ МОм = 1\,000\,000\ Ом.$$

В чём причина сопротивления? Если бы электроны в проводнике не испытывали никаких помех в своём движении, то они, будучи приведены в упорядоченное движение, двигались бы по инерции неограниченно долго. В действительности электроны взаимодействуют с ионами кристаллической решётки металла. При этом замедляется упорядоченное движение электронов и сквозь поперечное сечение проводника проходит за 1 с меньшее их число. Соответственно уменьшается и переносимый электронами за 1 с заряд, т. е. уменьшается сила тока. Таким образом, каждый проводник как бы противодействует электрическому току, оказывает ему сопротивление.

Причиной сопротивления является взаимодействие движущихся электронов с ионами кристаллической решётки.

Разные проводники обладают различным сопротивлением из-за различия в строении их кристаллической решётки, из-за разной длины и площади поперечного сечения.

? Вопросы **1.** Как на опыте показать, что сила тока в цепи зависит от свойств проводника? **2.** Что принимают за единицу сопротивления проводника? Как её называют? **3.** Какие единицы сопротивления, кроме ома, используют? **4.** В чём причина сопротивления?



УПРАЖНЕНИЕ 28

1. Начертите схему цепи, изображённой на рисунке 70, и объясните опыт, проведённый по данному рисунку.
2. Выразите в омах значения следующих сопротивлений: 100 мОм; 0,7 кОм; 20 МОм.
3. Сила тока в спирали электрической лампы 0,5 А при напряжении на её концах 1 В. Определите сопротивление спирали.

§ 44 ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

В предыдущих параграфах были рассмотрены три величины, с которыми мы имеем дело в любой электрической цепи, — это ***сила тока, напряжение*** и ***сопротивление***. Эти величины связаны между собой. Зависимость силы тока от напряжения мы уже установили. В § 42 на основании опытов было показано, что *сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника*. Обратите внимание, что при проведении опыта сопротивление проводника не менялось.

При проведении физических опытов, в которых определяют зависимость одной величины от другой, все остальные величины должны быть постоянными. Если они будут изменяться, то установить зависимость будет сложнее.

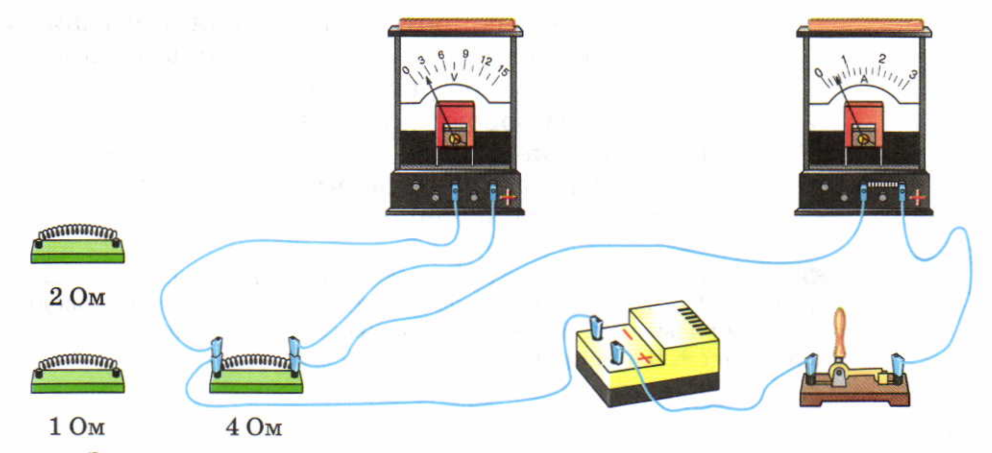


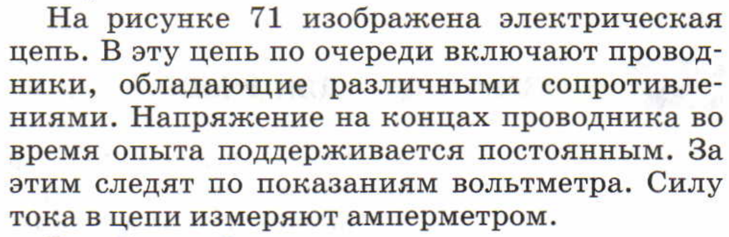
Рис. 71. Зависимость силы тока от сопротивления

Поэтому, определяя зависимость силы тока от сопротивления, напряжение на концах проводника надо поддерживать постоянным.

Чтобы ответить на вопрос, как зависит сила тока в цепи от сопротивления, обратимся к опыту.



Магазин сопротивлений



На рисунке 71 изображена электрическая цепь. В эту цепь по очереди включают проводники, обладающие различными сопротивлениями. Напряжение на концах проводника во время опыта поддерживается постоянным. За этим следят по показаниям вольтметра. Силу тока в цепи измеряют амперметром.

В таблице 7 приведены результаты опытов с тремя различными проводниками.

Таблица 7

№ опыта	Напряжение на концах проводника, В	Сопротивление проводника, Ом	Сила тока в цепи, А
1	2	1	2
2	2	2	1
3	2	4	0,5



ОМ ГЕОРГ

(1787—1854)

Немецкий физик. Он вывел теоретически и подтвердил на опыте закон, выражающий связь между силой тока в цепи, напряжением и сопротивлением.

В первом опыте сопротивление проводника 1 Ом и сила тока в цепи 2 А. Сопротивление второго проводника 2 Ом, т. е. в два раза больше, а сила тока в два раза меньше. И наконец, в третьем случае сопротивление цепи увеличилось в четыре раза и во столько же раз уменьшилась сила тока. Напомним, что напряжение на концах проводников во всех трёх опытах было одинаковое, равное 2 В.

Обобщая результаты опытов, приходим к выводу, что *сила тока в проводнике обратно пропорциональна сопротивлению проводника*.

Зависимость силы тока от напряжения на концах участка цепи и сопротивления этого участка называется ***законом Ома*** по имени немецкого учёного ***Георга Ома***, открывшего этот закон в 1827 г.

$$I = \frac{U}{R}$$

Закон Ома читается так: ***сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.***

$$I = \frac{U}{R},$$

здесь I — сила тока в участке цепи, U — напряжение на этом участке, R — сопротивление участка.

Закон Ома — один из основных физических законов.

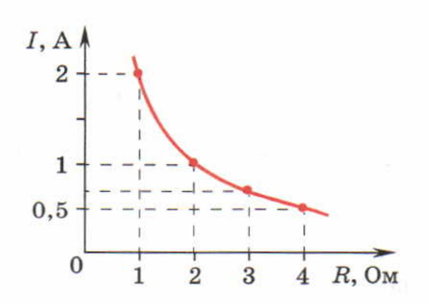


Рис. 72. График зависимости силы тока в цепи от сопротивления

На рисунке 72 зависимость силы тока от сопротивления проводника при одном и том же напряжении на его концах показана графически. На этом графике по горизонтальной оси в условно выбранном масштабе отложены сопротивления проводников в омах, по вертикальной — сила тока в амперах.

Из формулы $I = \frac{U}{R}$ следует, что

$$U = IR \text{ и } R = \frac{U}{I}.$$

$U = IR$

Следовательно, зная силу тока и сопротивление, можно по закону Ома вычислить напряжение на участке цепи, а зная напряжение и силу тока — сопротивление участка.

Сопротивление проводника можно определить по формуле $R = \frac{U}{I}$, однако надо понимать, что R — величина постоянная для данного проводника и не зависит ни от напряжения, ни от силы тока. Если напряжение на данном проводнике увеличится, например в три раза, то во столько же раз увеличится и сила тока в нём, а отношение напряжения к силе тока не изменится.

$R = \frac{U}{I}$



1. Пользуясь рисунком 71, расскажите, как при помощи опыта устанавливают зависимость силы тока в участке цепи от сопротивления этого участка. 2. Какова зависимость силы тока в проводнике от сопротивления этого проводника? 3. Как формулируется закон Ома? 4. Как выразить напряжение на участке цепи, зная силу тока в нём и его сопротивление? 5. Как выразить сопротивление участка цепи, зная напряжение на его концах и силу тока в нём?

УПРАЖНЕНИЕ 29

1. Напряжение на зажимах электрического утюга 220 В, сопротивление нагревательного элемента утюга 50 Ом. Чему равна сила тока в нагревательном элементе?
2. Сила тока в спирали электрической лампы 0,7 А, сопротивление лампы 310 Ом. Определите напряжение, под которым находится лампа.
3. Каким сопротивлением обладает вольтметр, рассчитанный на 150 В, если сила тока в нём не должна превышать 0,01 А?
4. Определите по графику (см. рис. 69) сопротивление проводника.
5. Рассмотрите рисунок 71 и таблицу результатов опыта, выполняемого в соответствии с этим рисунком. Что изменится на рисунке и в схеме

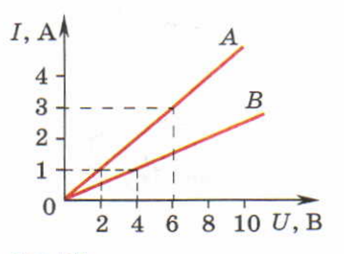


Рис. 73

электрической цепи, когда будут проводиться опыты № 2 и 3, указанные в таблице 7?

6. По показаниям приборов (см. рис. 70) определите сопротивление проводника AB.

7. На рисунке 73 изображены графики зависимости силы тока от напряжения для двух проводников A и B. Какой из этих проводников обладает бо́льшим сопротивлением? Определите сопротивление каждого из проводников.

§ 45 РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Мы знаем, что причиной электрического сопротивления проводника является взаимодействие электронов с ионами кристаллической решётки металла (§ 43). Поэтому можно предположить, что сопротивление проводника зависит от его *длины* и *площади поперечного сечения*, а также от *вещества*, из которого он изготовлен.

На рисунке 74 изображена установка для проведения такого опыта. В цепь источника тока по очереди включают различные проводники, например:

1) никелиновые проволоки *одинаковой толщины*, но *разной длины*;

2) никелиновые проволоки *одинаковой длины*, но *разной толщины* (разной площади поперечного сечения);

3) никелиновую и нихромовую проволоки *одинаковой длины* и *толщины*.

Силу тока в цепи измеряют *амперметром*, напряжение — *вольтметром*.

Зная напряжение на концах проводника и силу тока в нём, по закону Ома можно определить сопротивление каждого из проводников.

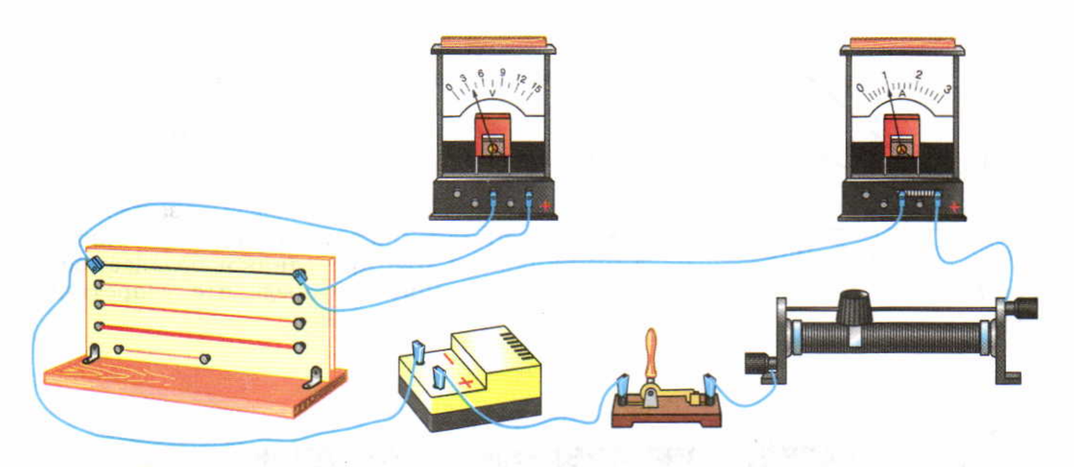


Рис. 74. Зависимость сопротивления проводника от его размеров и рода вещества

Выполнив указанные опыты, мы установим, что:

1) из двух никелиновых проволок одинаковой толщины *более длинная* проволока имеет *большее сопротивление*;

2) из двух никелиновых проволок одинаковой длины *большее сопротивление* имеет проволока, *поперечное сечение которой меньше*;

3) никелиновая и нихромовая проволоки *одинаковых размеров* имеют *разное сопротивление*.

Зависимость сопротивления проводника от его размеров и вещества, из которого изготовлен проводник, впервые на опытах изучил Ом. Он установил, ***что сопротивление прямо пропорционально длине проводника, обратно пропорционально площади его поперечного сечения и зависит от вещества проводника.***

Как учесть зависимость сопротивления от вещества, из которого изготовляют проводник? Для этого вычисляют так называемое ***удельное сопротивление вещества.***

Удельное сопротивление — это физическая величина, которая определяет сопротивление

проводника из данного вещества длиной 1 м, площадью поперечного сечения 1 м^2.

$R = \frac{\rho l}{S}$

Введём буквенные обозначения: ρ — удельное сопротивление проводника, l — длина проводника, S — площадь его поперечного сечения. Тогда сопротивление проводника R выразится формулой

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

Из неё получим, что:

$$l = \frac{RS}{\rho},\ S = \frac{\rho l}{R},\ \rho = \frac{RS}{l}.$$

$l = \frac{RS}{\rho}$

Из последней формулы можно определить единицу удельного сопротивления. Так как единицей сопротивления является 1 Ом, единицей площади поперечного сечения — 1 м^2, а единицей длины — 1 м, то единицей удельного сопротивления будет:

$$\frac{1\ \text{Ом} \cdot 1\ \text{м}^2}{1\ \text{м}}, \text{ или } \mathbf{1\ Ом \cdot м}.$$

$S = \frac{\rho l}{R}$

Удобнее выражать площадь поперечного сечения проводника в квадратных миллиметрах, так как она чаще всего бывает небольшой. Тогда единицей удельного сопротивления будет:

$$\frac{1\ \text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

$\rho = \frac{RS}{l}$

В таблице 8 приведены значения удельных сопротивлений некоторых веществ при 20 °С. Удельное сопротивление с изменением температуры меняется. Опытным путём было установлено, что у металлов, например, удельное сопротивление с повышением температуры увеличивается.

Таблица 8. Удельное электрическое сопротивление некоторых веществ (при $t = 20\ ^\circ C$)

Вещество	ρ, $\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$	Вещество	ρ, $\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$	Вещество	ρ, $\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$
Серебро	0,016	Никелин (сплав)	0,40	Нихром (сплав)	1,1
Медь	0,017				
Золото	0,024	Манганин (сплав)	0,43	Фехраль (сплав)	1,3
Алюминий	0,028				
Вольфрам	0,055	Константан (сплав)	0,50	Графит	13
Железо	0,10			Фарфор	10^{19}
Свинец	0,21	Ртуть	0,96	Эбонит	10^{20}

Из всех металлов наименьшим удельным сопротивлением обладают серебро и медь. Следовательно, серебро и медь — лучшие проводники электричества.

При проводке электрических цепей используют алюминиевые, медные и железные провода.

Во многих случаях бывают нужны приборы, имеющие большое сопротивление. Их изготавливают из специально созданных сплавов — веществ с большим удельным сопротивлением. Например, как видно из таблицы 8, сплав нихром имеет удельное сопротивление почти в 40 раз большее, чем алюминий.

Фарфор и эбонит имеют такое большое удельное сопротивление, что почти совсем не проводят электрический ток, их используют в качестве изоляторов.



1. Как зависит сопротивление проводника от его длины и от площади поперечного сечения? **2.** Как показать на опыте зависимость сопротивления проводника от его длины, площади поперечного сечения и вещества, из которого он изготовлен? **3.** Что называется удельным сопротивлением проводника? **4.** По какой формуле можно рассчитывать сопротивление проводников? **5.** В каких единицах выражается удельное сопротивление проводника? **6.** Из каких веществ изготавливают проводники, применяемые на практике?

§ 46 ПРИМЕРЫ НА РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА, СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Пример 1. Длина медного провода, использованного в осветительной сети, 100 м, площадь поперечного сечения его 2 мм^2. Чему равно сопротивление такого провода?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$l = 100$ м

$S = 2$ мм^2

$\rho = 0{,}017\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

R — ?

Решение:

$R = \frac{\rho l}{S}$.

Удельное сопротивление меди находим в таблице 8, тогда:

$$R = 0{,}017\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 100\ \text{м} : 2\ \text{мм}^2 = 0{,}85\ \text{Ом}.$$

Ответ: $R = 0{,}85$ Ом.

Пример 2. Никелиновая проволока длиной 120 м и площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 включена в цепь с напряжением 127 В. Определить силу тока в проволоке.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$l = 120$ м

$S = 0{,}5$ мм^2

$U = 127$ В

$\rho = 0{,}4\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

I — ?

Решение:

Силу тока можно определить по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (1)$$

Неизвестное сопротивление — по формуле

$$R = \frac{\rho l}{S}. \qquad (2)$$

Подставляя значения величин в формулы (2) и (1), находим:

$$R = 0{,}4\ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \frac{120\ \text{м}}{0{,}5\ \text{мм}^2} = 96\ \text{Ом}.$$

$I = 127$ В : 96 Ом $\approx 1{,}3$ А.

Ответ: $I \approx 1{,}3$ А.

Пример 3. Манганиновая проволока длиной 8 м и площадью поперечного сечения 0,8 мм^2 включена в цепь аккумулятора. Сила тока в цепи 0,3 А. Определить напряжение на полюсах аккумулятора.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$l = 8$ м

$S = 0{,}8$ мм^2

$I = 0{,}3$ А

$\rho = 0{,}43 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

U — ?

Решение:

Напряжение на полюсах аккумулятора равно напряжению на концах проволоки. Это напряжение можно найти по закону Ома:

$U = IR$.

Неизвестное сопротивление определим по формуле $R = \frac{\rho l}{S}$, тогда:

$$U = \frac{I \rho l}{S}.$$

Подставляя значения величин в формулу, получим:

$U = 0{,}3 \text{ А} \cdot 0{,}43 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 8 \text{ м} : 0{,}8 \text{ мм}^2 \approx$
$\approx 1{,}3$ В.

Ответ: $U \approx 1{,}3$ В.



УПРАЖНЕНИЕ 30

1. Длина одного провода 20 см, другого — 1,6 м. Площадь сечения и материал проводов одинаковы. У какого провода сопротивление больше и во сколько раз?
2. Рассчитайте сопротивления следующих проводников, изготовленных:

   а) из алюминиевой проволоки длиной 80 см и площадью поперечного сечения 0,2 мм^2;

   б) из никелиновой проволоки длиной 400 см и площадью поперечного сечения 0,5 мм^2;

   в) из константановой проволоки длиной 50 см и площадью поперечного сечения 0,005 см^2.

3. Спираль электрической плитки изготовлена из нихромовой проволоки длиной 13,75 м и площадью поперечного сечения 0,1 мм². Плитка рассчитана на напряжение 220 В. Определите силу тока в спирали плитки.

4. Сила тока в железном проводнике длиной 150 мм и площадью поперечного сечения 0,02 мм² равна 250 мА. Каково напряжение на концах проводника?

§ 47 РЕОСТАТЫ

На практике часто приходится менять силу тока в цепи, делая её то больше, то меньше. Так, изменяя силу тока в динамике радиоприёмника, мы регулируем громкость звука. Изменением силы тока в электродвигателе швейной машины можно регулировать скорость его вращения.

Во многих случаях для регулирования силы тока в цепи применяют специальные приборы — ***реостаты***.

Простейшим реостатом может служить проволока из материала с большим удельным сопротивлением, например никелиновая или нихромовая. Включив такую проволоку в цепь источника электрического тока через контакты *A* и *C* последовательно с амперметром (рис. 75)

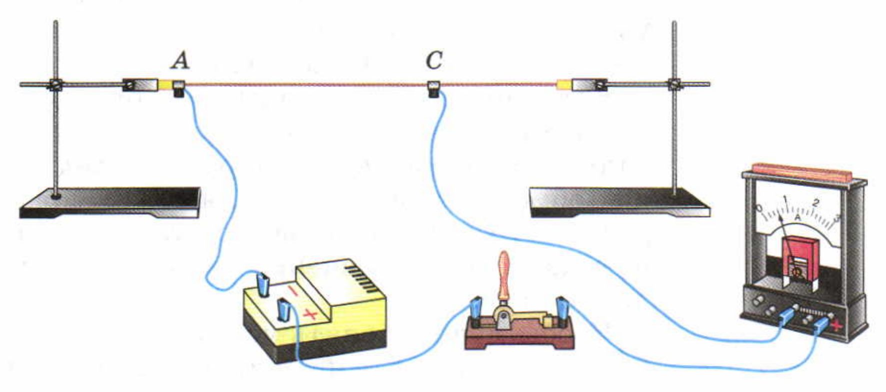


Рис. 75. Изменение длины проводника, включённого в цепь

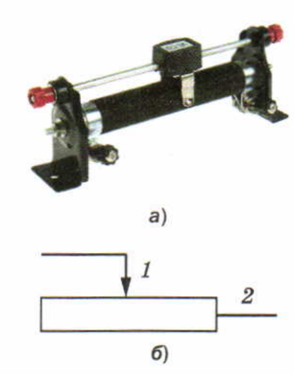


Рис. 76. Внешний вид и обозначение реостата на схеме

и передвигая подвижный контакт *C*, можно уменьшать или увеличивать длину включённого в цепь участка *AC*. При этом будет меняться сопротивление цепи, а следовательно, и сила тока в ней.

Реостатам, применяемым на практике, придают более удобную и компактную форму. Для этой цели используют проволоку с большим удельным сопротивлением. Один из реостатов (ползунковый реостат) изображён на рисунке 76, *а*, а его условное обозначение в схемах — на рисунке 76, *б*. В этом реостате стальная проволока намотана на керамический цилиндр. Проволока покрыта тонким слоем не проводящей ток окалины, поэтому витки её изолированы друг от друга. Над обмоткой расположен металлический стержень, по которому может перемещаться ползунок. Своими контактами он прижат к виткам обмотки. От трения ползунка о витки слой окалины под его контактами стирается, и электрический ток в цепи проходит от витков проволоки к ползунку, а через него в стержень, имеющий на конце клемму *1*. С помощью этой клеммы и клеммы *2*, соединённой с одним из концов обмотки и расположенной на корпусе реостата, реостат подсоединяют в цепь.

Перемещая ползунок по стержню, можно увеличивать или уменьшать сопротивление реостата, включённого в цепь.

Каждый реостат рассчитан на определённое сопротивление и на наибольшую допустимую силу тока, превышать которую не следует, так как обмотка реостата накаляется и может перегореть. Сопротивление реостата и наибольшее допустимое значение силы тока указаны на реостате.

Чтобы лучше понять устройство и действие реостата, покажите на рисунке 76 путь тока по нему, если клеммы *1* и *2* включены в цепь.



1. Для чего предназначен реостат? **2.** Объясните по рисунку 76, *а*, как устроен ползунковый реостат. Как можно включать его в цепь? **3.** Почему в реостатах используют проволоку с большим удельным сопротивлением? **4.** Для каких величин указывают на реостате их допустимые значения? **5.** Как на схемах электрических цепей изображают реостат?



УПРАЖНЕНИЕ 31

1. На рисунке 77 изображён реостат, с помощью которого можно менять сопротивление в цепи не плавно, а ступенями — скачками. Рассмотрите рисунок и по нему опишите, как действует такой реостат.

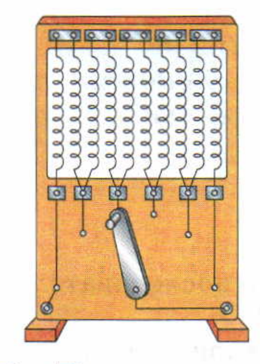


Рис. 77

2. Если каждая спираль реостата (см. рис. 77) имеет сопротивление 3 Ом, то какое сопротивление будет введено в цепь при положении переключателя, изображённом на рисунке? Куда надо поставить переключатель, чтобы с помощью этого реостата увеличить сопротивление цепи ещё на 18 Ом?
3. В цепь включены: источник тока, ключ, электрическая лампа и ползунковый реостат. Нарисуйте в тетради схему этой цепи. Куда надо передвинуть ползунок реостата, чтобы лампа светилась ярче?
4. Требуется изготовить реостат на 20 Ом из никелиновой проволоки площадью сечения 3 мм^2. Какой длины проволока потребуется для этого?

§ 48 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Электрические цепи, с которыми приходится иметь дело на практике, обычно состоят не из одного приёмника электрического тока, а из нескольких различных, которые могут быть соединены между собой по-разному. Зная сопротивление каждого и способ их соединения, можно рассчитать общее сопротивление цепи.

На рисунке 78, *а* изображена цепь последовательного соединения двух электрических ламп, а на рисунке 78, *б* — схема такого соединения. Если выключать одну лампу, то цепь разомкнётся и другая лампа погаснет.

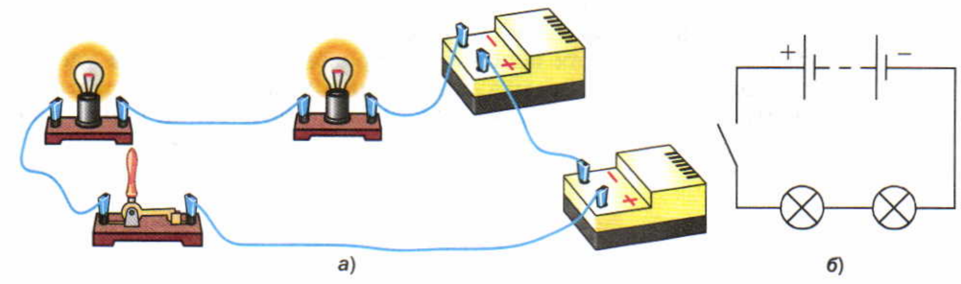


Рис. 78. Последовательное включение лампочек и источников питания

Последовательно соединены, например, аккумулятор, лампа, два амперметра и ключ в цепи, изображённой на рисунке 62 (см. § 38).

Мы уже знаем, что ***при последовательном соединении сила тока в любых частях цепи одна и та же***, т. е.

$$\boldsymbol{I = I_1 = I_2}.$$

А чему равно сопротивление последовательно соединённых проводников?

Соединяя проводники последовательно, мы как бы увеличиваем длину проводника. Поэтому сопротивление цепи становится больше сопротивления одного проводника.

Общее сопротивление цепи при последовательном соединении равно сумме сопротивлений отдельных проводников (или отдельных участков цепи):

$$\boldsymbol{R = R_1 + R_2}.$$

Напряжение на концах отдельных участков цепи рассчитывается на основе закона Ома:

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2.$$

Из приведённых равенств видно, что напряжение будет бóльшим на проводнике с наибольшим сопротивлением, так как сила тока везде одинакова.

При последовательном соединении проводников:

$$\boldsymbol{I = I_1 = I_2}$$

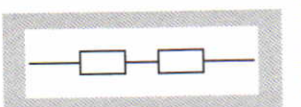
$$\boldsymbol{R = R_1 + R_2}$$

$$\boldsymbol{U = U_1 + U_2}$$

Полное напряжение в цепи при последовательном соединении, или напряжение на полюсах источника тока, равно сумме напряжений на отдельных участках цепи:

$$U = U_1 + U_2.$$

Это равенство вытекает из закона сохранения энергии. Электрическое напряжение на участке цепи измеряется работой электрического тока, совершающейся при прохождении по участку цепи электрического заряда в 1 Кл. Эта работа совершается за счёт энергии электрического поля, и энергия, израсходованная на всём участке цепи, равна сумме энергий, которые расходуются на отдельных проводниках, составляющих участок этой цепи.



Последовательное соединение проводников

Все приведённые закономерности справедливы для любого числа последовательно соединённых проводников.

Пример 1. Два проводника сопротивлением $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 3$ Ом соединены последовательно. Сила тока в цепи $I = 1$ А. Определить сопротивление цепи, напряжение на каждом проводнике и полное напряжение всего участка цепи.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	Решение:
$R_1 = 2$ Ом $R_2 = 3$ Ом $I = 1$ А	Сила тока во всех последовательно соединённых проводниках одна и та же и равна силе тока в цепи, т. е.:
R — ? U_1 — ? U_2 — ? U — ?	$I_1 = I_2 = I = 1$ А. Общее сопротивление цепи: $R = R_1 + R_2$, $R = 2$ Ом $+ 3$ Ом $= 5$ Ом.

Напряжение на каждом из проводников найдём по закону Ома:

$U_1 = IR_1$; $U_1 = 1$ А $\cdot$ 2 Ом $= 2$ В;

$U_2 = IR_2$; $U_2 = 1$ А $\cdot$ 3 Ом $= 3$ В.

Полное напряжение в цепи:

$U = U_1 + U_2$, или $U = IR$.

$U = 2\ \text{В} + 3\ \text{В} = 5\ \text{В}$, или $U = 1\ \text{А} \cdot 5\ \text{Ом} = 5\ \text{В}$.

Ответ: $R = 5$ Ом, $U_1 = 2$ В, $U_2 = 3$ В, $U = 5$ В.



1. Какое соединение проводников называют последовательным? Изобразите его на схеме. 2. Какая электрическая величина одинакова для всех проводников, соединённых последовательно? 3. Как найти общее сопротивление цепи, зная сопротивление отдельных проводников, при последовательном соединении? 4. Как найти напряжение участка цепи, состоящего из последовательно соединённых проводников, зная напряжение на каждом?

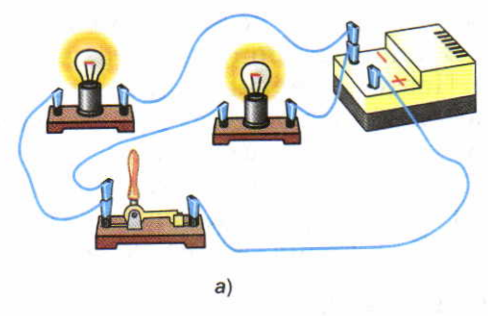
УПРАЖНЕНИЕ 32

1. Цепь состоит из двух последовательно соединённых проводников, сопротивление которых 4 и 6 Ом. Сила тока в цепи 0,2 А. Найдите напряжение на каждом из проводников и общее напряжение.
2. Для электропоездов применяют напряжение 3000 В. Как можно использовать для освещения вагонов лампы, рассчитанные на напряжение 50 В каждая?
3. Две одинаковые лампы, рассчитанные на 220 В каждая, соединены последовательно и включены в сеть с напряжением 220 В. Под каким напряжением будет находиться каждая лампа?
4. Электрическая цепь состоит из источника тока — батареи аккумуляторов, создающей в цепи напряжение 6 В, лампочки от карманного фонаря сопротивлением 13,5 Ом, двух спиралей сопротивлением 3 и 2 Ом, ключа и соединительных проводов. Все детали цепи соединены последовательно. Начертите схему цепи. Определите силу тока в цепи, напряжение на концах каждого из потребителей тока.

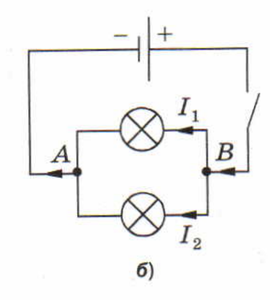
§ 49 ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Другой способ соединения проводников, применяемый в практике, называется ***параллельным соединением***. На рисунке 79, *а* изображено параллельное соединение двух электрических ламп, а на рисунке 79, *б* — схема этого соединения. Обратите внимание на важные особенности такого соединения.

При параллельном соединении все входящие в него проводники одним своим концом



а)



б)

Рис. 79. Параллельное соединение лампочек

присоединяются к одной точке цепи A, а вторым концом к другой точке B (см. рис. 79, *б*). Поэтому ***напряжение на участке цепи AB и на концах всех параллельно соединённых проводников одно и то же***:

$$\boldsymbol{U = U_1 = U_2}.$$

Очень удобно поэтому применять параллельное соединение потребителей в быту и в технике, так как все потребители в этом случае изготавливаются в расчёте на одинаковое напряжение. Кроме того, при выключении одного потребителя другие продолжают действовать, ток в них не прерывается, так как цепь остаётся замкнутой.

При параллельном соединении ток в точке B (см. рис. 79, *б*) разветвляется на два тока I_1 и I_2, сходящиеся вновь в точке A, подобно тому как изображённый на рисунке 80 поток воды в реке распределяется по двум каналам, сходящимся затем вновь.



Рис. 80. Схожесть потока в реке с током в цепи

Поэтому ***сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в отдельных параллельно соединённых проводниках***:

$$\boldsymbol{I = I_1 + I_2}.$$

При параллельном соединении проводников:

$$U = U_1 = U_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

При параллельном соединении как бы увеличивается площадь поперечного сечения проводника. Поэтому общее сопротивление цепи уменьшается и становится меньше сопротивления каждого из проводников, входящих в цепь. Так, например, сопротивление цепи R, состоящей из двух одинаковых ламп, сопротивлением R_1 каждая, в два раза меньше сопротивления одной лампы: $R = \frac{R_1}{2}$.

Общее сопротивление цепи при параллельном соединении проводников определяется по формуле

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

В одну и ту же электрическую цепь параллельно могут быть включены самые различные потребители электрической энергии. На рисунке 81 показано параллельное включение электрических ламп, нагревательных приборов и электродвигателя. Такая схема соединения потребителей тока используется, например, в жилых помещениях; в точках *а* и *б* провода осветительной сети вводятся в квартиру.

Потребители, параллельно включаемые в данную сеть, должны быть рассчитаны на одно и то же напряжение, равное напряжению в сети.

Напряжение в сети, используемое у нас для освещения и в бытовых приборах, равно 220 В. Поэтому электрические лампы и различные бытовые электроприборы изготовляют на 220 В.

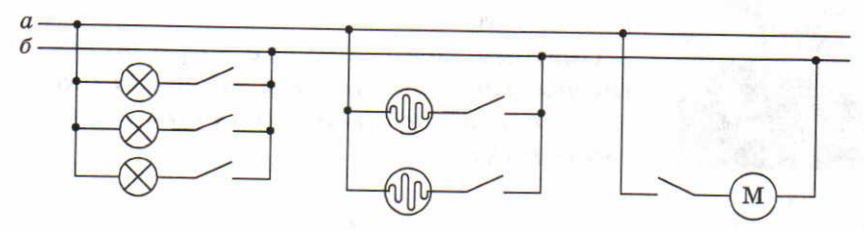
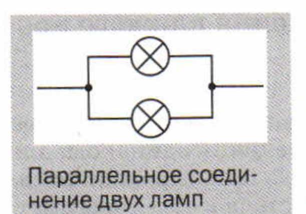


Рис. 81. Параллельное включение в цепь различных потребителей

В практике часто применяется смешанное (последовательное и параллельное) соединение проводников.


Параллельное соединение двух ламп

Зная сопротивления проводников, соединённых параллельно, и напряжение на этом участке цепи, можно определить многие другие электрические величины этой цепи. Для этого нужно использовать формулы: $U = U_1 = U_2$ и $I = I_1 + I_2$, а также закон Ома для участка цепи.

Пример. В осветительную сеть комнаты включены две электрические лампы, сопротивления которых 200 и 300 Ом. Напряжение в сети 120 В. Определить силу тока в каждой лампе, силу тока в подводящих проводах (т. е. силу тока до разветвления), общее сопротивление участка, состоящего из двух ламп.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$R_1 = 200$ Ом

$R_2 = 300$ Ом

$U = 120$ В

I_1 — ?

I_2 — ?

I — ?

R — ?

Решение:

Напряжение на каждой лампе равно напряжению в сети, так как лампы соединены параллельно, т. е. $U_1 = U_2 = 120$ В. Силу тока в каждой лампе определяем, пользуясь законом Ома: $I = \frac{U}{R}$.

$$I_1 = \frac{U}{R_1},\ I_1 = \frac{120\ \text{В}}{200\ \text{Ом}} = 0{,}6\ \text{А}.$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2},\ I_2 = \frac{120\ \text{В}}{300\ \text{Ом}} = 0{,}4\ \text{А}.$$

Сила тока в подводящих проводах равна сумме сил тока в лампах:

$$I = I_1 + I_2,\ I = 0{,}6\ \text{А} + 0{,}4\ \text{А} = 1\ \text{А}.$$

Общее сопротивление участка цепи, состоящего из двух параллельно соединённых ламп, находим по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I},\ R = \frac{120\ \text{В}}{1\ \text{А}} = 120\ \text{Ом}.$$

Ответ: $I_1 = 0{,}6$ А, $I_2 = 0{,}4$ А, $I = 1$ А, $R = 120$ Ом.

Решив задачу, мы убедились, что общее сопротивление участка цепи $R = 120$ Ом, состоящего из двух параллельно соединённых проводников сопротивлением $R_1 = 200$ Ом и $R_2 = 300$ Ом, меньше сопротивления каждого проводника.



1. Какое соединение проводников называют параллельным? Изобразите его на схеме. **2.** Какая из электрических величин одинакова для всех проводников, соединённых параллельно? **3.** Как выражается сила тока в цепи до её разветвления через силы токов в отдельных ветвях разветвления? **4.** Как изменяется общее сопротивление разветвления после увеличения числа проводников в разветвлении? **5.** Какое соединение проводников применяется в жилых помещениях? **6.** Какие напряжения используются для бытовых нужд?



УПРАЖНЕНИЕ 33

1. Два проводника сопротивлением 10 и 15 Ом соединены параллельно и подключены к напряжению 12 В. Определите силу тока в каждом проводнике и силу тока до разветвления.
2. Почему бытовые приборы в помещении необходимо соединять параллельно?
3. Три потребителя сопротивлением 20, 40, 24 Ом соединены параллельно. Напряжение на концах этого участка цепи 24 В. Определите силу тока в каждом потребителе, общую силу тока в участке цепи и сопротивление участка цепи.
4. Два проводника имеют сопротивления 5 Ом и 500 Ом. Почему при последовательном соединении этих проводников их общее сопротивление будет больше 500 Ом, а при параллельном соединении меньше 5 Ом?
5. На рисунке 82 изображена схема смешанного соединения проводников, сопротивления которых: $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, $R_4 = 2$ Ом. Амперметр показывает силу тока 1 А. Определите напряжение между точками B и C и силу тока в каждом проводнике.

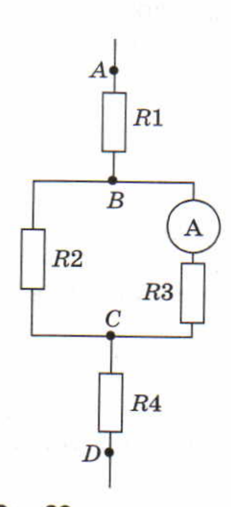


Рис. 82

§ 50 РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

$A = Uq$

$A = UIt$

Как вычислить работу электрического тока? Мы уже знаем, что напряжение на концах участка цепи численно равно работе, которая совершается при прохождении по этому участку электрического заряда в 1 Кл. При прохождении по этому же участку электрического заряда, равного не 1 Кл, а, например, 5 Кл, совершённая работа будет в 5 раз больше. Таким образом, ***чтобы определить работу электрического тока на каком-либо участке цепи, надо напряжение на концах этого участка цепи умножить на электрический заряд (количество электричества), прошедший по нему***:

$$A = Uq,$$

где A — работа, U — напряжение, q — электрический заряд. Электрический заряд, прошедший по участку цепи, можно определить, измерив силу тока и время его прохождения:

$$q = It.$$

Используя это соотношение, получим формулу работы электрического тока, которой удобно пользоваться при расчётах:

$$A = UIt.$$

Работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах этого участка на силу тока и на время, в течение которого совершалась работа.

Работу измеряют в *джоулях*, напряжение — в *вольтах*, силу тока — в *амперах* и время — в *секундах*, поэтому можно написать:

1 джоуль = 1 вольт × 1 ампер × 1 секунду,

или **1 Дж = 1 В · А · с.**

Выходит, что для измерения работы электрического тока нужны три прибора: вольтметр, амперметр и часы. На практике работу электрического тока измеряют специальными приборами — ***счётчиками***. В устройстве счётчика как бы сочетаются три названных выше прибора. Счётчики электроэнергии сейчас можно видеть почти в каждой квартире.

Пример. Какую работу совершает электродвигатель за 1 ч, если сила тока в цепи электродвигателя 5 А, напряжение на его клеммах 220 В? КПД двигателя 80%.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	СИ	**Решение:**
$t = 1$ ч	3600 с	Полная работа тока
$I = 5$ А		$A = UIt$;
$U = 220$ В		$A = 220\ \text{В} \cdot 5\ \text{А} \cdot 3600\ \text{с} =$
$\eta = 80\%$		$= 3\,960\,000\ \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \approx$
		$\approx 4\,000\,000$ Дж.
A_1 — ?		Работа двигателя A_1,

т. е. полезная работа тока, составляет 80% от всей работы тока:

$$A_1 = A \cdot \eta;$$

$$A_1 = 4\,000\,000\ \text{Дж} \cdot 80\% : 100\% =$$

$$= 3\,200\,000\ \text{Дж} = 3{,}2 \cdot 10^6\ \text{Дж} = 3{,}2 \cdot 10^3\ \text{кДж}.$$

Ответ: $A_1 = 3{,}2 \cdot 10^3$ кДж.



1. Чему равно электрическое напряжение на участке цепи? **2.** Как через напряжение и электрический заряд, прошедший через участок цепи, выразить работу электрического тока на этом участке? **3.** Как выразить работу тока через напряжение, силу тока и время? **4.** Какими приборами измеряют работу электрического тока?

УПРАЖНЕНИЕ 34

1. Какую работу совершает электрический ток в электродвигателе за 30 мин, если сила тока в цепи 0,5 А, а напряжение на клеммах двигателя 12 В?
2. Напряжение на спирали лампочки от карманного фонаря равно 3,5 В, сопротивление спирали 14 Ом. Какую работу совершает ток в лампочке за 5 мин?

3. Два проводника, сопротивлением по 5 Ом каждый, соединены сначала последовательно, а потом параллельно и в обоих случаях включены под напряжение 4,5 В. В каком случае работа тока за одно и то же время будет больше и во сколько раз?

§ 51 МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

$P = UI$

Мы знаем, что мощность численно равна работе, совершённой в единицу времени. Следовательно, чтобы найти среднюю мощность электрического тока, надо его работу разделить на время:

$$P = \frac{A}{t},$$

где P — мощность тока (механическую мощность мы обозначали буквой N).

Работа электрического тока равна произведению напряжения на силу тока и на время: $A = UIt$, следовательно,

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = UI.$$

Таким образом, мощность электрического тока равна произведению напряжения на силу тока, или

$$\boldsymbol{P = UI.}$$

Из этой формулы можно определить, что

$$U = \frac{P}{I}, I = \frac{P}{U}.$$

За единицу мощности, как известно, принят *ватт*; **1 Вт = 1 $\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$**. Из формулы $P = UI$ следует, что

1 ватт = 1 вольт × 1 ампер, или **1 Вт = 1 В · А.**

Используют также единицы мощности, кратные ватту: *гектоватт* (**гВт**), *киловатт* (**кВт**), *мегаватт* (**МВт**).

$$1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}.$$

Измерить мощность электрического тока можно с помощью вольтметра и амперметра. Чтобы вычислить искомую мощность, необходимо напряжение умножить на силу тока. Значение силы тока и напряжение определяют по показаниям приборов.

Существуют специальные приборы — ***ваттметры***, которые непосредственно измеряют мощность электрического тока в цепи.



Мощность, потребляемая некоторыми приборами и устройствами

? Вопросы

1. Что называют мощностью? 2. Как рассчитать мощность? 3. Как выражается мощность электрического тока через напряжение и силу тока? 4. Что принимают за единицу мощности? 5. Как выражается единица мощности через единицы напряжения и силы тока? 6. Какие единицы мощности используют в практике?

 **УПРАЖНЕНИЕ 35**

1. В цепь с напряжением 127 В включена электрическая лампа, сила тока в которой 0,6 А. Найдите мощность тока в лампе.
2. Электроплитка рассчитана на напряжение 220 В и силу тока 3 А. Определите мощность тока в плитке.
3. Пользуясь рисунком на с. 146, вычислите, какую работу совершает за 1 ч электрический ток в лампе карманного фонаря, осветительной лампе мощностью 200 Вт, в лампе звезды башни Кремля.
4. Рассмотрите один-два электроприбора, используемые в квартире. Найдите по паспорту приборов их мощность. Определите работу тока в них за 10 мин.

§ 52 ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ

В паспортах приёмников тока — ламп, плиток, электродвигателей — обычно указывают мощность тока в них. По мощности легко определить работу тока за заданный промежуток времени, пользуясь формулой $A = Pt$.

Выражая мощность в *ваттах*, а время в *секундах*, получим работу в *джоулях*:

$$1\ \text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}},\ \text{откуда}\ 1\ \text{Дж} = 1\ \text{Вт} \cdot \text{с}.$$

Однако эту единицу работы неудобно использовать на практике, так как в потребителях электроэнергии ток производит работу в течение длительного времени, например, в бытовых приборах — в течение нескольких часов, в электропоездах — по нескольку часов и даже суток, а расчёт израсходованной энергии по электросчётчику производится чаще всего за месяц. Поэтому при вычислении работы тока или затрачиваемой и вырабатываемой электрической энергии во всех этих случаях прихо-



В конце месяца
011706,9

В начале месяца
010982,6

Израсходовано
724 кВт · ч

Тариф
3 р. за 1 кВт · ч

Стоимость
3 × 724 = 2172 р.

Снятие показаний счётчика и расчёт потребляемой энергии

дится переводить эти отрезки времени в секунды, что усложняет расчёты.

Поэтому на практике, вычисляя работу тока, гораздо удобнее время выражать в часах, а работу тока не в джоулях, а в других единицах: *ватт-час* (**Вт · ч**), *гектоватт-час* (**гВт · ч**), *киловатт-час* (**кВт · ч**).

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ гВт} \cdot \text{ч} = 100 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 360\,000 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

Пример. Имеется электрическая лампа, рассчитанная на ток мощностью 100 Вт. Ежедневно лампа горит в течение 6 ч. Найти работу тока за один месяц (30 дней) и стоимость израсходованной энергии, считая, что тариф составляет 300 к. за 1 кВт · ч.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:
$P = 100$ Вт
$t = 6 \text{ ч} \cdot 30 = 180$ ч
Тариф $= 300 \frac{\text{к.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$

A — ?
Стоимость — ?

Решение:
$A = Pt$.
$A = 100 \text{ Вт} \cdot 180 \text{ ч} =$
$= 18\,000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} =$
$= 18 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Стоимость $= 300 \frac{\text{к.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \times$
$\times 18 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 540 \text{ к.} =$
$= 54$ р.

Ответ: $A = 18$ кВт · ч, стоимость = 54 р.


? Вопросы

1. Какую величину обычно указывают в паспортах приёмников тока? 2. Как можно выразить работу тока через мощность и время? 3. Какие единицы работы тока используют?

УПРАЖНЕНИЕ 36

1. Мощность электрического утюга равна 0,6 кВт. Вычислите работу тока в нём за 1,5 ч. Сколько при этом расходуется энергии?
2. В квартире имеется две электролампы по 60 Вт и две по 40 Вт. Каждую из них включают на 3 ч в сутки. Определите стоимость энергии,

израсходованной лампами за один месяц (30 дней). (Действующий тариф за 1 кВт • ч узнайте у учителя.)

3. Рассмотрите рисунок 81. Подсчитайте электроэнергию, расходуемую за 1 месяц (30 дней) всеми показанными на схеме приборами, если известно, что напряжение в сети (между точками *а* и *б*) равно 220 В, лампы имеют мощность по 40 Вт каждая и включаются на 4 ч в день, электронагревательные приборы имеют мощность 800 и 1000 Вт и включаются на 1 ч и 0,5 ч в день соответственно, электродвигатель пылесоса имеет мощность 600 Вт и включается на 0,5 ч один раз в неделю. Вычислите стоимость расходуемой энергии. (Действующий тариф за 1 кВт • ч узнайте у учителя.)

ЗАДАНИЕ

1. Узнайте мощности имеющихся у вас в квартире электрических приборов и примерное время их работы в течение недели. Вычислите стоимость израсходованной ими за неделю энергии и сравните полученную вами сумму с той, которая определяется по счётчику.

2. По счётчику определите и запишите, какая электроэнергия расходуется в вашей квартире за неделю (или месяц). В течение следующей недели (месяца) старайтесь экономить энергию — выключать, когда это возможно, электроприборы. Определите по счётчику, сколько энергии вы сумели сэкономить.

   Примечание. Экономия электроэнергии имеет большое значение. Например, 1 кВт • ч энергии позволяет выплавить около 20 кг чугуна.

§ 53 НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА

$$Q = I^2Rt$$

Электрический ток нагревает проводник. Это явление нам хорошо известно. Объясняется оно тем, что свободные электроны в металлах или ионы в растворах солей, кислот, щелочей, перемещаясь под действием электрического поля, взаимодействуют с ионами или атомами вещества проводника и передают им свою энергию. В результате работы электрического тока внутренняя энергия проводника увеличивается.





ДЖОУЛЬ ДЖЕЙМС ПРЕСКОТТ

(1818—1889)

Обосновал на опытах закон сохранения энергии. Установил закон, определяющий тепловое действие электрического тока. Вычислил скорость движения молекул газа и установил её зависимость от температуры.

Опыты показывают, что в неподвижных металлических проводниках вся работа тока идёт на увеличение их внутренней энергии. Нагретый проводник отдаёт полученную энергию окружающим телам, но уже путём теплопередачи.

Значит, количество теплоты, выделяемое проводником, по которому течёт ток, равно работе тока.

Мы знаем, что работу тока рассчитывают по формуле

$$A = UIt.$$

Обозначим количество теплоты буквой Q. Согласно сказанному выше,

$$Q = A, \text{ или } Q = UIt.$$

Пользуясь законом Ома, можно количество теплоты, выделяемое проводником с током, выразить через силу тока, сопротивление участка цепи и время. Зная, что $U = IR$, получим: $Q = IRIt$, т. е.

$$\mathbf{Q = I^2Rt.}$$

Количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени.



ЛЕНЦ ЭМИЛИЙ ХРИСТИАНОВИЧ

(1804—1865)

Один из основоположников электротехники. С его именем связано открытие закона, определяющего тепловые действия тока, и закона, определяющего направление индукционного тока.

К этому же выводу, но на основании опытов впервые пришли независимо друг от друга английский учёный ***Джеймс Джоуль*** и русский учёный ***Эмилий Христианович Ленц***. Поэтому сформулированный выше вывод называется ***законом Джоуля—Ленца***.



1. Как можно объяснить нагревание проводника электрическим током? 2. По какой формуле можно рассчитать количество теплоты, выделяемое проводником с током? 3. Как, пользуясь законом Ома, можно выразить количество теплоты, выделяемое проводником с током, через силу тока, сопротивление проводника и время? 4. Как формулируется закон Джоуля—Ленца? Почему он носит такое название?

УПРАЖНЕНИЕ 37

1. Какое количество теплоты выделится за 30 мин проволочной спиралью сопротивлением 20 Ом при силе тока 5 А?
2. С какой целью провода в местах соединения не просто скручивают, а ещё и спаивают? Ответ обоснуйте.
3. Спираль нагревательного прибора — рефлектора при помощи шнура и вилки соединяется с розеткой. Шнур состоит из проводов, подводящих ток к спирали, покрытых изоляцией. Спираль и провода соединены последовательно. Как распределяется подаваемое от сети напряжение между проводами и спиралью? Почему спираль раскаляется, а провода почти не нагреваются? Какими особенностями устройства спирали и проводов достигается эта разница?
4. В цепь источника тока включены последовательно три проволоки одинакового сечения и длины: медная, стальная и никелиновая. Какая из них больше нагреется? Ответ обоснуйте и по возможности проверьте в классе на опыте.

§ 54 КОНДЕНСАТОР





Рис. 83. Простейший конденсатор и его обозначение на схеме

Как вам известно, вокруг заряженных тел существует электрическое поле, которое обладает энергией.

А можно ли накапливать заряды и энергию электрического поля? Устройством, позволяющим накапливать заряды, является ***конденсатор*** (от лат. *condensare* — сгущение). Простейший плоский конденсатор состоит из двух одинаковых металлических пластин — *обкладок*, находящихся на небольшом расстоянии друг от друга и разделённых слоем *диэлектрика*, например воздуха (рис. 83). Толщина диэлектрика в сравнении с размерами обкладок небольшая.

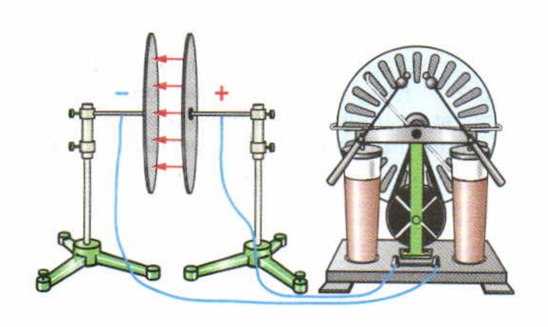


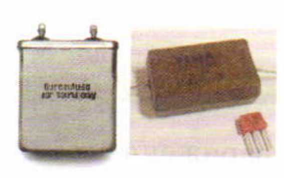
Рис. 84. Зарядка конденсатора от электрофорной машины

Продемонстрируем на опыте способность конденсатора накапливать заряды. Для этого две металлические пластины подключим к разным полюсам электрофорной машины (рис. 84). Пластины получат одинаковые по модулю, но разные по знаку заряды. Возникнет электрическое поле. Электрическое поле конденсатора практически сосредоточено между пластинами внутри конденсатора.

После отключения электрофорной машины заряды на пластинах и электрическое поле между ними сохранятся.

Если обкладки заряженного конденсатора соединить проводником, то по проводнику некоторое время будет проходить ток. Значит, заряженный конденсатор является источником тока.

В зависимости от диэлектрика конденсаторы бывают нескольких типов: с твёрдым, жидким и газообразным диэлектриком. Их различают и по форме обкладок: плоские, цилиндрические, сферические и др. (рис. 85).



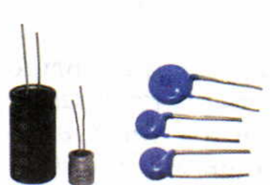


Рис. 85. Различные типы конденсаторов

Свойство конденсатора накапливать электрические заряды характеризуется ***электроёмкостью***, или ёмкостью. Для того чтобы понять, от чего зависит эта физическая величина, обратимся к опыту.

Две металлические пластины, укреплённые на изолирующих подставках параллельно друг другу, соединим с электрометром. Одну из пластин соединим со стержнем электрометра, другую заземлим, соединив с корпусом прибора (рис. 86, *а*). Наэлектризованным шаром коснёмся внешней стороны пластины A, тем самым сообщив ей положительный заряд $+q$. Под действием электрического поля пластины A в пластине B произойдёт перераспределение

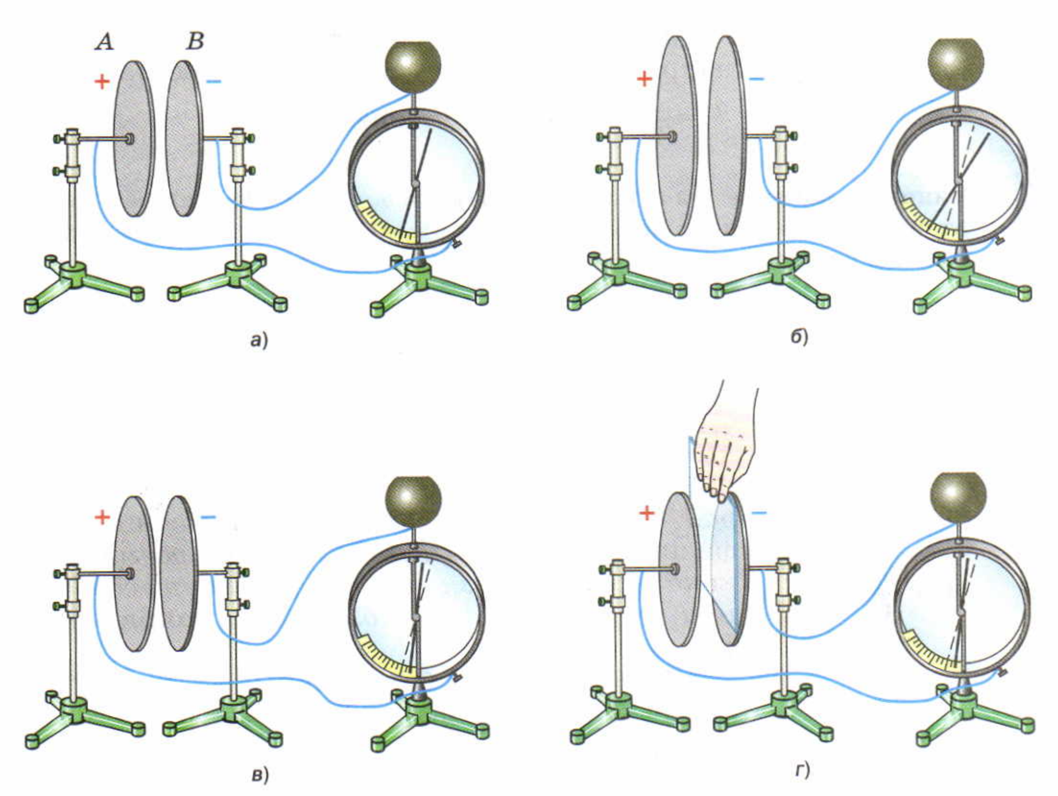


Рис. 86. Зависимость ёмкости конденсатора от площади, расстояния между пластинами, диэлектрика между пластинами

зарядов: отрицательные заряды расположатся на внутренней стороне пластины. С земли придут свободные электроны, чтобы нейтрализовать положительные заряды на внешней стороне пластины B. Таким образом, на пластине B возникнет равный по величине отрицательный заряд $-q$.

Стрелка электрометра отклонится от нулевого положения. С помощью одинаково заряженных шаров продолжим передавать конденсатору заряды последовательно равными порциями. Мы заметим, что при увеличении заряда в 2, 3, 4 раза соответственно в 2, 3, 4 раза увеличатся показания электрометра, т. е. увеличится напряжение между пластинами

конденсатора. Причём отношение заряда к напряжению будет оставаться постоянным: $\frac{q}{U} = \frac{2q}{2U} = \frac{3q}{3U} = \frac{4q}{4U} = \text{const}$.

Величина, измеряемая отношением заряда одной из пластин конденсатора к напряжению между пластинами, называется электроёмкостью конденсатора.

Электроёмкость конденсатора вычисляется по формуле:

$$C = \frac{q}{U}.$$

$$C = \frac{q}{U}$$

За единицу ёмкости в СИ принимается *фарад* (**Ф**), название дано в честь английского физика ***Майкла Фарадея***. *Электроёмкость конденсатора равна единице, если при сообщении ему заряда* 1 Кл *возникает напряжение* 1 В.

1 Ф — это очень большая ёмкость, поэтому на практике используют *микрофарад* (**мкФ**) и *пикофарад* (**пФ**).

$$1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}; 1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}.$$

Выясним, от чего зависит ёмкость кондесатора. Для этого возьмём конденсатор с пластинами, имеющими бо́льшую площадь (рис. 86, *б*). Повторим опыт. Отношение заряда к напряжению и в этом случае остаётся постоянным $\frac{q}{U_1} = \frac{2q}{2U_1} = \frac{3q}{3U_1} = \frac{4q}{4U_1} = \text{const}$, но отношение заряда к напряжению теперь больше, чем в первом опыте, т. е. $C_1 > C$. *Чем больше площадь пластин, тем больше ёмкость конденсатора.*

Ещё раз проделаем первый опыт, но теперь изменим расстояние между пластинами (рис. 86, *в*). С уменьшением расстояния между пластинами уменьшается напряжение между ними. *При уменьшении расстояния между пластинами конденсатора при неизменном заряде ёмкость конденсатора увеличивается.*

Проделаем ещё один опыт. Установим пластины конденсатора A и B на некотором расстоянии друг от друга. Пластину A зарядим. Заметим показания электрометра, когда между пластинами находится воздух. Разместим между пластинами лист из оргстекла или другой диэлектрик (рис. 86, *г*). Мы заметим, что напряжение между пластинами уменьшится. Следовательно, ёмкость конденсатора зависит от свойств внесённого диэлектрика.

При внесении диэлектрика ёмкость конденсатора увеличивается.

$$\boldsymbol{A = qU_{ср}}$$

Конденсатор, как и любое заряженное тело, обладает энергией. Проверим это на опыте. Зарядим конденсатор и подсоединим к нему электрическую лампочку. Лампочка ярко вспыхнет. Это свидетельствует о том, что заряженный конденсатор обладает энергией. Энергия конденсатора превращается во внутреннюю энергию нити накаливания лампы и проводов. Для того чтобы зарядить конденсатор, нужно было совершить работу по разделению положительных и отрицательных зарядов. В соответствии с законом сохранения энергии, совершённая работа A равна энергии конденсатора E, т. е.

$$A = E,$$

где E — энергия конденсатора.

Работу, которую совершает электрическое поле конденсатора, можно найти по формуле:

$$\boldsymbol{A = qU_{ср},}$$

где $U_{ср}$ — это среднее значение напряжения.

Поскольку в процессе разрядки напряжение не остаётся постоянным, необходимо найти среднее значение напряжения:

$$U_{ср} = U/2; \text{ тогда } A = qU_{ср} = \frac{qU}{2},$$

$$\text{так как } q = CU, \text{ то } A = \frac{CU^2}{2}.$$

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

Значит, энергия конденсатора ёмкостью C будет равна:

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

Конденсаторы могут длительное время накапливать энергию, а при разрядке они отдают её почти мгновенно. Свойство конденсатора накапливать и быстро отдавать электрическую энергию широко используется в электротехнических и электронных устройствах, в медицинской технике (рентгеновская техника, устройства электротерапии), при изготовлении дозиметров, аэрофотосъёмке.



Вопросы

1. Для чего служат конденсаторы? 2. Что характеризует электроёмкость конденсатора? 3. Что принято за единицу электроёмкости в СИ? 4. От чего зависит электроёмкость конденсатора?



УПРАЖНЕНИЕ 38

1. Пластины плоского конденсатора подсоединяют к источнику напряжения в 220 В. Ёмкость конденсатора равна $1,5 \cdot 10^{-4}$ мкФ. Чему будет равен заряд конденсатора?
2. Заряд плоского конденсатора равен $2,7 \cdot 10^{-2}$ Кл, его ёмкость 0,01 мкФ. Найдите напряжение между обкладками конденсатора.

ЗАДАНИЕ

1. Используя Интернет, найдите, как был устроен первый конденсатор — лейденская банка. Изготовьте её.
2. Подготовьте выступление об истории создания конденсатора.

§ 55 ЛАМПА НАКАЛИВАНИЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Основная часть современной лампы накаливания — спираль из тонкой вольфрамовой проволоки. Вольфрам — тугоплавкий металл, его температура плавления 3387 °C. В лампе нака-

ливания вольфрамовая спираль нагревается до 3000 °С, при такой температуре она достигает белого каления и светится ярким светом. Спираль помещают в стеклянную колбу, из которой выкачивают насосом воздух, чтобы спираль не перегорала. Но в вакууме вольфрам быстро испаряется, спираль становится тоньше и тоже сравнительно быстро перегорает. Чтобы предотвратить быстрое испарение вольфрама, лампы наполняют азотом, иногда инертными газами — криптоном или аргоном. Молекулы газа препятствуют выходу частиц вольфрама из нити, т. е. препятствуют разрушению накалённой нити.



ЛОДЫГИН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

(1847—1923)

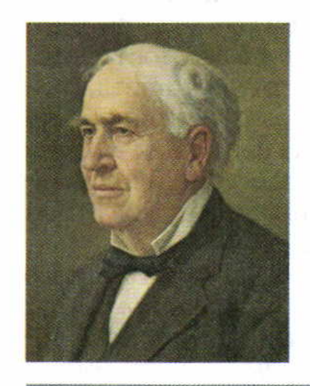
Русский электротехник, изобретатель лампы накаливания.

Газонаполненная лампа накаливания изображена на рисунке 87.

Выдающимся изобретением в области освещения было создание русским инженером ***Александром Николаевичем Лодыгиным*** электрической лампы накаливания. Лампу, удобную для промышленного изготовления, с угольной нитью создал американский изобретатель ***Томас Эдисон***.

Промышленность выпускает лампы накаливания на напряжение 220 В (для осветительной сети), 50 В (для железнодорожных вагонов), 12 В (для автомобилей), 3,5 и 2,5 В (для карманных фонарей).

Сегодня лампы накаливания, имеющие малый срок службы, а также низкую световую отдачу, вытесняются люминесцентными и светодиодными лампами.



ЭДИСОН ТОМАС

(1847—1931)

Американский изобретатель, основатель крупных электротехнических компаний. Усовершенствовал телеграф, телефон, лампу накаливания для промышленного производства.

Энергосберегающие лампочки (люминесцентные) более экономичны и служат гораздо дольше (рис. 88). В них 70% энергии преобразуется в свет, а в лампочке накаливания только 5%, остальная часть энергии (90—95%) переводится в тепло.

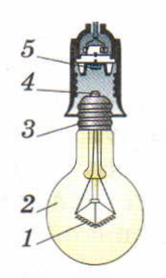


Рис. 87. Лампа накаливания:
1 — спираль; *2* — стеклянный баллон;
3 — цоколь; *4* — изолированное основание цоколя; *5* — пружинящий контакт патрона



Рис. 88. Энергосберегающая лампа:
1 — электронный блок; *2* — стеклянная колба, покрытая люминофором;
3 — цоколь

Соотношение мощностей ламп

Энергосберегающая	Накаливания
5 Вт	25 Вт
8 Вт	40 Вт
11 Вт	60 Вт
14 Вт	75 Вт
18 Вт	100 Вт

Энергосберегающая лампочка состоит из колбы, наполненной парами ртути и аргона, и пускорегулирующего устройства. На внутреннюю поверхность колбы нанесено специальное вещество — *люминофор*, которое при воздействии ультрафиолетового излучения испускает видимый свет.

В светодиодных лампах электрический ток пропускают не по нити накала, а через миниатюрное электронное устройство (ЧИП — от англ. *chip* — миниатюрный), нанесённое на полупроводниковый кристалл. При прохождении электрического тока светодиод испускает свет.

В последние годы светодиодные лампы находят применение при освещении помещений, их устанавливают в светофорах, фарах автомобилей. Светодиоды используют как индикаторы включения на панелях приборов, цифровых и буквенных табло, подсветке мобильных телефонов, мониторов и др.

Тепловое действие тока используют в различных электронагревательных приборах и установках. В домашних условиях широко применяют электрические плиты, утюги, чайники, кипятильники. В промышленности тепловое действие тока используют для выплавки специальных сортов стали и многих других металлов, для электросварки. В сельском хозяйстве с помощью электрического тока обогревают теплицы, кормозапарники, инкубаторы, сушат зерно, приготовляют силос.

Основная часть всякого нагревательного электрического прибора — *нагревательный элемент*. Нагревательный элемент представляет собой проводник с большим удельным сопротивлением, способный, кроме того, выдерживать, не разрушаясь, нагревание до высокой температуры (1000—1200 °C). Чаще всего для изготовления нагревательного элемента применяют сплав никеля, железа, хрома и марганца, известный под названием «нихром». Удельное сопротивление нихрома $\rho = 1,1 \ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, что


Электронагревательные приборы

примерно в 70 раз больше удельного сопротивления меди. Большое удельное сопротивление нихрома даёт возможность изготовлять из него весьма удобные — малые по размерам — нагревательные элементы.

В нагревательном элементе проводник в виде проволоки или ленты наматывается на пластинку из жароустойчивого материала: слюды, керамики. Так, например, нагревательным элементом в электрическом утюге служит нихромовая лента, от которой нагревается нижняя часть утюга.



1. Пользуясь рисунком 87, расскажите, как устроена современная лампа накаливания. **2.** Зачем баллоны современных ламп накаливания наполняют инертным газом? **3.** Приведите примеры использования тепловых действий тока. **4.** Какими свойствами должен обладать металл, из которого изготовляют спирали или ленты нагревательного элемента?


ЗАДАНИЕ

Подготовьте доклад на одну из тем (по выбору).

- История развития электрического освещения.
- Использование теплового действия электрического тока в устройстве теплиц и инкубаторов.

§ 56 КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Электрические цепи всегда рассчитаны на определённую силу тока. Если по этой или иной причине сила тока в цепи становится больше допустимой, то провода могут значительно нагреться, а покрывающая их изоляция — воспламениться.

Причиной значительного увеличения силы тока в сети может быть или одновременное включение мощных потребителей тока, напри-



Рис. 89. Короткое замыкание в электропроводке



Рис. 90. Плавкий предохранитель

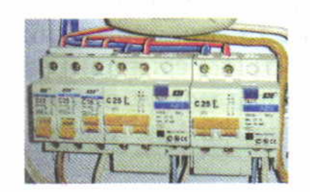


Рис. 91. Современный квартирный щиток с предохранителями

мер электрических плиток, или *короткое замыкание*.

Коротким замыканием называют соединение концов участка цепи проводником, сопротивление которого очень мало по сравнению с сопротивлением участка цепи.

Короткое замыкание (рис. 89) может возникнуть, например, при ремонте проводки под током или при случайном соприкосновении с открытыми контактами.

Сопротивление цепи при коротком замыкании незначительно, поэтому в цепи возникает большая сила тока, провода при этом могут сильно накалиться и стать причиной пожара. Чтобы избежать этого, в сеть включают предохранители.

Назначение предохранителей — сразу отключить линию, если сила тока вдруг окажется больше допустимой нормы. Они защищают электроприборы от выхода из строя при перегрузках в электрической сети.

Предохранители устанавливают на входе электрических и радиоприборов и установок. Они обычно изготавливаются из медной проволоки, покрытой оловом. Если сила тока превысит допустимое значение, то проволока расплавится и цепь окажется разомкнутой.

Предохранители с плавящимся проводником называют ***плавкими предохранителями***. Внешний вид такого предохранителя показан на рисунке 90.

Предохранители, применяемые в квартирной проводке, располагают на специальном щитке, устанавливаемом у самого ввода проводов в квартиру (рис. 91). В каждый из проводов последовательно включают отдельный предохранитель.

На рисунке 92 изображён предохранитель, действие которого основано не на плавлении, а на тепловом расширении тел при нагревании.



Рис. 92. Предохранитель

При возникновении неисправности в цепи это устройство отключается автоматически.

? Вопросы

1. Что может случиться с проводом, если сила тока превысит допустимую норму? 2. Что может служить причиной значительного увеличения силы тока в сети? 3. В чём причина короткого замыкания? 4. Чем объяснить, что при коротком замыкании сила тока в цепи может достигнуть огромного значения? 5. Для какой цели служат предохранители, включаемые в сеть? 6. Как устроен плавкий предохранитель?

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- **Электризация** — сообщение телу электрического заряда.
- **Электрический ток** — это упорядоченное движение заряженных частиц.
- **Сила тока (I)** равна:

$$I = \frac{q}{t}.$$

- **Напряжение (U)** является *энергетической* характеристикой электрического поля. Электрическое напряжение определяют по формуле:

$$U = \frac{A}{q}.$$

- **Закон Ома** устанавливает зависимость силы тока от напряжения на концах участка цепи и сопротивления:

$$I = \frac{U}{R}.$$

- **Сопротивление** проводника $R = \rho\frac{l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление проводника, l — его длина, S — площадь сечения проводника.

- При *последовательном соединении* проводников:

$$I = I_1 = I_2; U = U_1 + U_2; R = R_1 + R_2.$$

- При *параллельном соединении* проводников:

$$I = I_1 + I_2; U = U_1 = U_2; \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

- При упорядоченном движении заряженных частиц в проводнике *электрическое поле совершает работу*.

  Работу электрического тока на участке цепи определяют по формуле:

$$A = UIt.$$

- **Мощность электрического тока** определяют по формуле:

$$P = \frac{A}{t} = UI.$$

- Закон **Джоуля—Ленца** определяет количество теплоты, которое выделяет проводник с током в окружающую среду.

  Количество теплоты, выделяемое на любом участке цепи, содержащем различные проводники, в соответствии с законом Джоуля—Ленца вычисляют по формуле:

$$Q = I^2Rt.$$

- **Электроёмкость** кондесатора вычисляется по формуле:

$$C = \frac{q}{U}.$$

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. Можно ли утверждать, что при натирании одного тела о другое у этих тел возникает заряд одного знака?
   А. нельзя, так как при трении электроны переходят с одного тела на другое; одно тело получает избыточный заряд, другое теряет электроны

Б. наэлектризовавшиеся тела имеют заряд одного знака
В. при трении тела вообще не заряжаются

2. Какая частица имеет наименьший отрицательный заряд?
А. протон
Б. электрон
В. нейтрон
Г. ион

3. Электрическим током называют:
А. хаотическое движение частиц
Б. направленное движение заряженных частиц
В. упорядоченное движение свободных электронов
Г. силу, с которой электрическое поле действует на внесённый в него электрический заряд

4. Установите соответствие между физическими величинами и единицами их измерения.

А) сила тока	1) В
Б) напряжение	2) Ом
В) сопротивление	3) Вт
Г) мощность электрического тока	4) А

5. Закон Ома для участка цепи записывается:
А. $R = \frac{\rho l}{S}$
Б. $I = \frac{U}{R}$
В. $A = UIt$
Г. $P = \frac{A}{t}$

6. При последовательном соединении проводников для силы тока выполняется соотношение:
А. $I = I_1 = I_2$
Б. $I = I_1 + I_2$
В. $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
Г. $U = U_1 + U_2$

7. При параллельном соединении проводников для напряжения на участке цепи выполняется соотношение:
   А. $U = U_1 = U_2$
   Б. $U = U_1 + U_2$
   В. $R = R_1 + R_2$
   Г. $I = I_1 + I_2$

8. Сопротивление металлического проводника увеличивается при:
   А. уменьшении удельного сопротивления
   Б. увеличении удельного сопротивления
   В. уменьшении длины проводника
   Г. увеличении площади поперечного сечения

9. При измерении напряжения на участке цепи вольтметр в цепь подключают:
   А. последовательно
   Б. параллельно
   В. или последовательно, или параллельно



1. Выполните задания, предложенные в электронном приложении.

2. На сайте http://class-fizika.narod.ru найдите тесты по теме «Электрические явления» и проверьте себя.

Глава 3 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 57 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



ЭРСТЕД ХАНС КРИСТИАН

(1777—1851)

Датский физик. Обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку, что привело к возникновению новой области физики — электромагнетизма.

В § 35 были описаны различные действия электрического тока, в том числе и магнитное, которое наблюдается всегда, когда существует электрический ток. Проявляется магнитное действие, например, в том, что между проводниками с током возникают силы взаимодействия, которые называются ***магнитными силами***. Чтобы изучить магнитное действие тока, воспользуемся магнитной стрелкой. (Она, как известно, является главной частью компаса.) Напомним, что у магнитной стрелки имеется *два полюса* — ***северный*** и ***южный***. Линию, соединяющую полюсы магнитной стрелки, называют её ***осью***.

Магнитную стрелку ставят на остриё, чтобы она могла свободно поворачиваться.

Рассмотрим теперь опыт, показывающий взаимодействие проводника с током и магнитной стрелки. Такое взаимодействие впервые обнаружил в 1820 г. датский учёный ***Ханс Кристиан Эрстед***. Его опыт имел большое значение для развития учения об электромагнитных явлениях.



Опыт Эрстеда

Расположим проводник, включённый в цепь источника тока, над магнитной стрелкой параллельно её оси (рис. 93). При замыкании цепи магнитная стрелка отклоняется от своего первоначального положения (на рисунке показано пунктиром). При размыкании цепи маг-

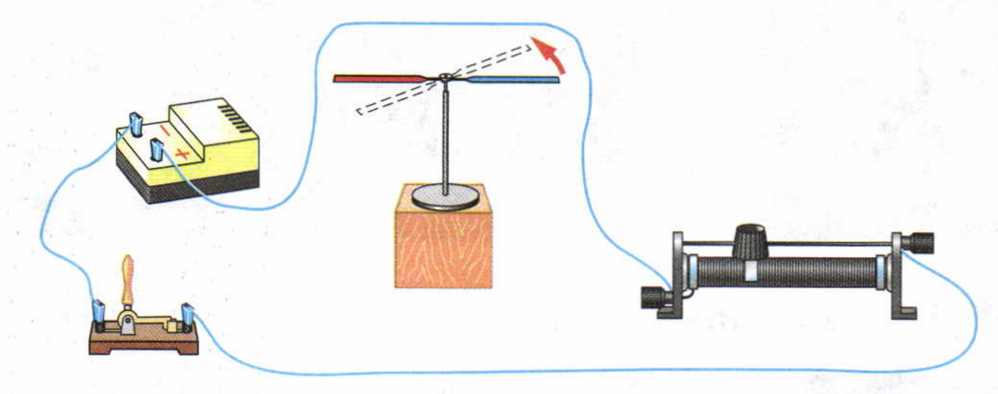


Рис. 93. Взаимодействие проводника с током и магнитной стрелки

нитная стрелка возвращается в своё начальное положение. Это означает, что проводник с током и магнитная стрелка взаимодействуют друг с другом.

Выполненный опыт наводит на мысль о существовании вокруг проводника с электрическим током ***магнитного поля***. Оно и действует на магнитную стрелку, отклоняя её.

Магнитное поле существует вокруг любого проводника с током, т. е. вокруг движущихся электрических зарядов. Электрический ток и магнитное поле неотделимы друг от друга.

Таким образом, вокруг неподвижных электрических зарядов существует только электрическое поле, вокруг движущихся зарядов, т. е. электрического тока, существует и *электрическое*, и *магнитное* поле. Магнитное поле появляется вокруг проводника, когда в последнем возникает ток, поэтому ток следует рассматривать как источник магнитного поля. В этом смысле надо понимать выражения «магнитное поле тока» или «магнитное поле, созданное током».



1. Какие явления наблюдаются в цепи, в которой существует электрический ток? 2. Какие магнитные явления вам известны? 3. В чём состоит опыт Эрстеда? 4. Какая связь существует между электрическим током и магнитным полем?

УПРАЖНЕНИЕ 39

1. Магнитная стрелка, помещённая около провода, отклонилась при пропускании по нему электрического тока. За счёт какой энергии совершена работа, необходимая для поворота стрелки?

2. У зажимов аккумулятора не оказалось маркировки полюсов — где плюс, а где минус. Можно ли их определить, имея в наличии компас?

§ 58 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОГО ТОКА. МАГНИТНЫЕ ЛИНИИ

Существование магнитного поля вокруг проводника с электрическим током можно обнаружить различными способами. Один из таких способов заключается в использовании мелких железных опилок.

В магнитном поле опилки — маленькие кусочки железа — намагничиваются и становятся магнитными стрелочками. Ось каждой стрелочки в магнитном поле устанавливается вдоль направления действия сил магнитного поля.

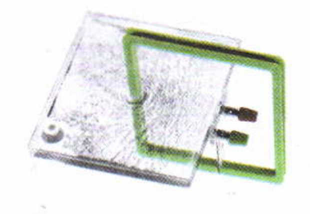


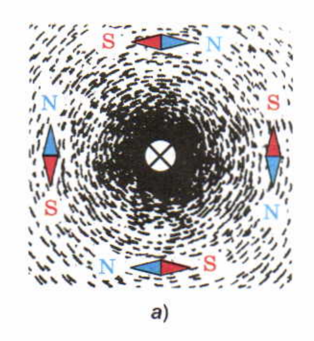
Рис. 94. Картина магнитного поля проводника с током

На рисунке 94 изображена картина магнитного поля прямого проводника с током. Для получения такой картины прямой проводник пропускают сквозь лист картона. На картон насыпают тонкий слой железных опилок, включают ток и опилки слегка встряхивают. Под действием магнитного поля тока железные опилки располагаются вокруг проводника не беспорядочно, а по концентрическим окружностям.

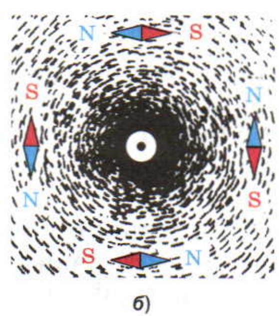
Линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются оси маленьких магнитных стрелок, называют магнитными линиями магнитного поля.

Направление, которое указывает северный полюс магнитной стрелки в каждой точке поля, принято за направление магнитной линии магнитного поля.

Цепочки, которые образуют в магнитном поле железные опилки, показывают форму магнитных линий магнитного поля.



а)



б)

Рис. 95. Расположение магнитных стрелок вокруг проводника с током

Магнитные линии магнитного поля тока представляют собой замкнутые кривые, охватывающие проводник.

С помощью магнитных линий удобно изображать магнитные поля графически. Так как магнитное поле существует во всех точках пространства, окружающего проводник с током, то через любую точку можно провести магнитную линию.

На рисунке 95, *а* показано расположение магнитных стрелок вокруг проводника с током. (Проводник расположен перпендикулярно плоскости чертежа, ток в нём направлен от нас, что условно обозначено кружком с крестиком.) Оси этих стрелок устанавливаются вдоль магнитных линий магнитного поля прямого тока. При изменении направления тока в проводнике все магнитные стрелки поворачиваются на 180° (рис. 95, *б*; в этом случае ток в проводнике направлен к нам, что условно обозначено кружком с точкой). Из этого опыта можно заключить, что *направление магнитных линий магнитного поля тока связано с направлением тока в проводнике.*



1. Почему для изучения магнитного поля можно использовать железные опилки? **2.** Как располагаются железные опилки в магнитном поле прямого тока? **3.** Что называют магнитной линией магнитного поля? **4.** Для чего вводят понятие магнитной линии поля? **5.** Как на опыте показать, что направление магнитных линий связано с направлением тока?

УПРАЖНЕНИЕ 40

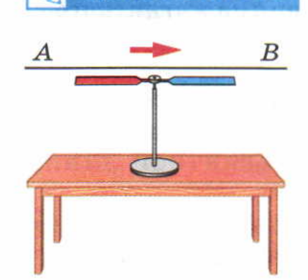


Рис. 96

1. Каким полюсом повернётся к наблюдателю магнитная стрелка, если ток в проводнике направлен от A к B (рис. 96)? Изменится ли ответ, если стрелку поместить над проводом?
2. В стене проложен (замурован) прямой электрический провод. Как найти место нахождения провода и направление тока в нём, не вскрывая стену?

§ 59 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШКИ С ТОКОМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

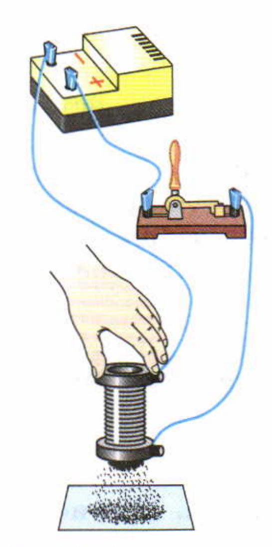


Рис. 97. Притяжение железных опилок катушкой с током

Наибольший практический интерес представляет собой магнитное поле катушки с током. На рисунке 97 изображена катушка, состоящая из большого числа витков провода, намотанного на деревянный каркас. Когда в катушке есть ток, железные опилки притягиваются к её концам, при отключении тока они отпадают.

Если катушку с током подвесить на тонких и гибких проводниках, то она установится так же, как магнитная стрелка компаса. Один конец катушки будет обращён к северу, другой — к югу. Значит, катушка с током, как и магнитная стрелка, имеет два полюса — *северный* и *южный* (рис. 98).

Вокруг катушки с током имеется магнитное поле. Его, как и поле прямого тока, можно обнаружить при помощи опилок (рис. 99). Магнитные линии магнитного поля катушки с током являются также замкнутыми кривыми. Принято считать, что вне катушки они направлены от северного полюса катушки к южному (см. рис. 99).

Катушки с током широко используют в технике в качестве *магнитов*. Они удобны тем, что их магнитное действие можно изменять (усиливать или ослаблять) в широких пределах. Рассмотрим способы, при помощи которых можно это делать.

На рисунке 97 изображён опыт, в котором наблюдается действие магнитного поля катушки с током. Если заменить катушку другой, с бо́льшим числом витков проволоки, то при той же силе тока она притянет больше железных предметов. Значит, *магнитное действие катушки с током тем сильнее, чем больше число витков в ней*.

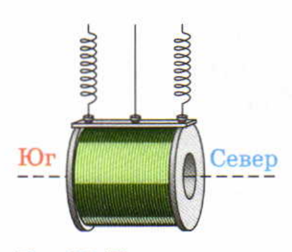


Рис. 98. Полюсы катушки с током

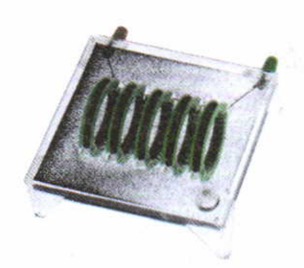


Рис. 99. Магнитные линии катушки с током

Включим в цепь, содержащую катушку, реостат (рис. 100) и при помощи него будем изменять силу тока в катушке. *При увеличении силы тока действие магнитного поля катушки с током усиливается, при уменьшении — ослабляется.*

Оказывается также, что магнитное действие катушки с током можно значительно усилить, не меняя число её витков и силу тока в ней. Для этого надо ввести внутрь катушки железный стержень (сердечник). *Железо, введённое внутрь катушки, усиливает магнитное действие катушки* (рис. 101).

Катушка с железным сердечником внутри называется электромагнитом.

Электромагнит — одна из основных деталей многих технических приборов. На рисун-

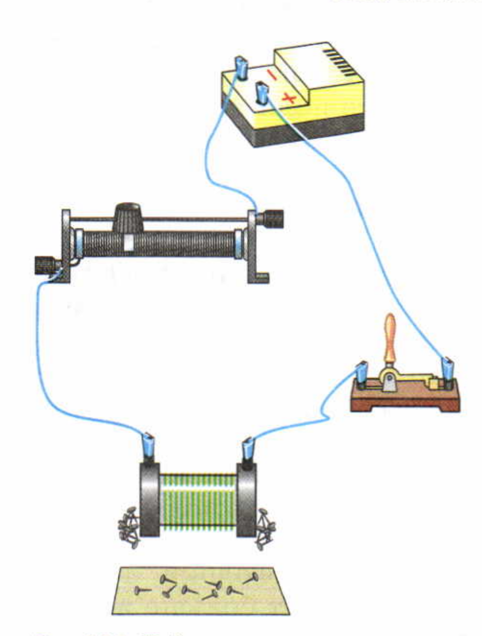


Рис. 100. Действие магнитного поля катушки

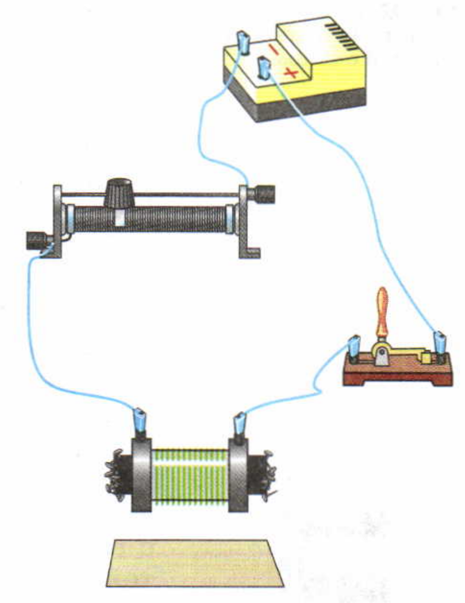


Рис. 101. Действие магнитного поля катушки с железным сердечником

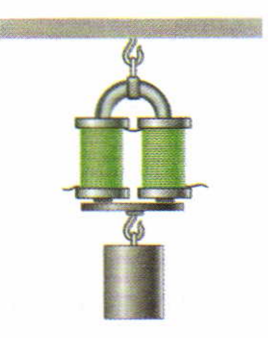


Рис. 102. Дугообразный электромагнит



Рис. 103. Применение электромагнитов

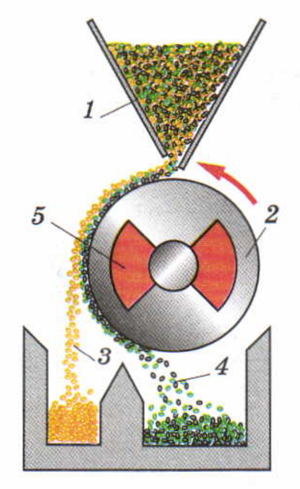


Рис. 104. Магнитный сепаратор

ке 102 изображён *дугообразный электромагнит*, удерживающий якорь (железную пластинку) с подвешенным грузом.

Электромагниты широко применяют в технике благодаря их замечательным свойствам. Они быстро размагничиваются при выключении тока, в зависимости от назначения их можно изготавливать самых различных размеров, во время работы электромагнита можно регулировать его магнитное действие, меняя силу тока в катушке.

Электромагниты, обладающие большой подъёмной силой, используют на заводах для переноски изделий из стали или чугуна, а также стальных и чугунных стружек, слитков (рис. 103).

На рисунке 104 показан в разрезе *магнитный сепаратор* для зерна. В зерно подмешивают очень мелкие железные опилки. Эти опилки не прилипают к гладким зёрнам полезных злаков, но прилипают к зёрнам сорняков. Зёрна *1* высыпаются из бункера на вращающийся барабан *2*. Внутри барабана находится сильный электромагнит *5*. Притягивая железные частицы *4*, он извлекает зёрна сорняков из потока зерна *3* и таким путём очищает зерно от сорняков и случайно попавших железных предметов.

Применяются электромагниты в телеграфном, телефонном аппаратах и во многих других устройствах.

? Вопросы

1. В каком направлении устанавливается катушка с током, подвешенная на длинных тонких проводниках? Какое сходство имеется у неё с магнитной стрелкой? **2.** Какими способами можно усилить магнитное действие катушки с током? **3.** Что называют электромагнитом? **4.** Для каких целей используют на заводах электромагниты? **5.** Как устроен магнитный сепаратор для зерна?

УПРАЖНЕНИЕ 41

1. Нужно построить электромагнит, подъёмную силу которого можно регулировать, не изменяя конструкции. Как это сделать?
2. Что надо сделать, чтобы изменить магнитные полюсы катушки с током на противоположные?
3. Как построить сильный электромагнит, если конструктору дано условие, чтобы ток в электромагните был сравнительно малым?
4. Используемые в подъёмном кране электромагниты обладают громадной мощностью. Электромагниты, при помощи которых удаляют из глаз случайно попавшие железные опилки, очень слабы. Какими способами достигают такого различия?

ЗАДАНИЕ

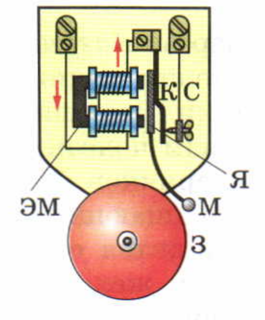


Рис. 105

1. На рисунке 105 дана схема устройства электрического звонка. На ней буквами обозначено: ЭМ — дугообразный электромагнит, Я — железная пластинка — якорь, М — молоточек, З — звонковая чаша, К — контактная пружина, касающаяся винта С. Рассмотрите схему звонка и объясните, как он действует.
2. На рисунке 106 показана схема простейшей телеграфной установки, позволяющей передавать телеграммы со станции *A* на станцию *B*. На схеме цифрами обозначено: *1* — ключ, *2* — электромагнит, *3* — якорь, *4* — пружина, *5* — колёсико, смазанное краской.

   По схеме объясните работу установки.
3. В мощных электрических двигателях, применяемых в прокатных станах, шахтных подъёмниках, насосах, сила тока достигает нескольких тысяч ампер. Так как в последовательно соединённых проводниках сила то-

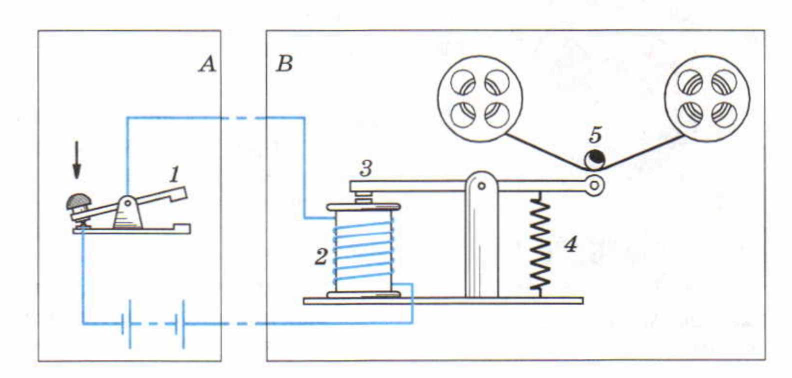


Рис. 106

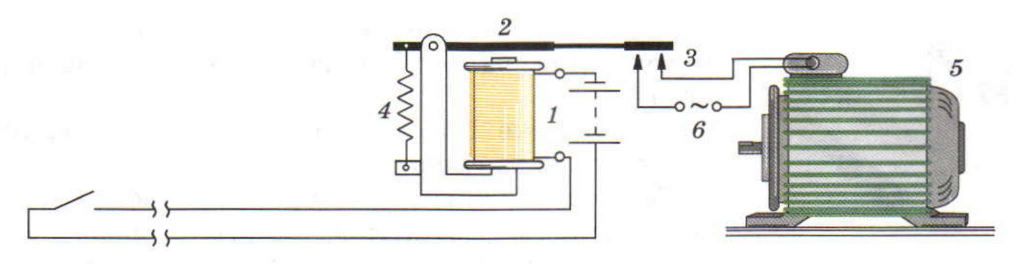


Рис. 107

ка одинакова, то такая же сила тока будет во всех соединительных проводах этой цепи. Это очень неудобно, особенно если потребитель тока находится на большом расстоянии от пульта управления, где включается ток. Такие цепи можно включать при помощи специального устройства — электромагнитного реле (рис. 107), приводя его в действие малой силой тока. На схеме обозначено: *1* — электромагнит, *2* — якорь, *3* — контакты рабочей цепи, *4* — пружина, *5* — электродвигатель, *6* — контакты цепи электродвигателя. Объясните, как действует этот прибор.

§ 60 ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Если вставить в катушку с током стержень из закалённой стали, то в отличие от железного стержня он не размагничивается после выключения тока, а длительное время сохраняет намагниченность.

Тела, длительное время сохраняющие намагниченность, называются ***постоянными магнитами*** или просто ***магнитами***.

Французский учёный Ампер объяснял намагниченность железа и стали существованием электрических токов, которые циркулируют внутри каждой молекулы этих веществ. Во времена Ампера о строении атома ещё ничего не знали, поэтому природа молекулярных токов оставалась неизвестной. Теперь мы знаем, что в каждом атоме имеются отрицательно заряженные частицы — электроны. При движе-

нии электронов возникает магнитное поле, которое и вызывает намагниченность железа и стали.

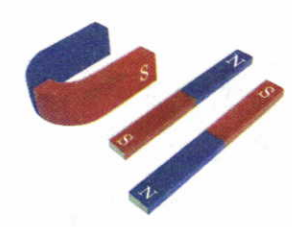


Рис. 108. Постоянные магниты

На рисунке 108 изображены дугообразный и полосовой магниты.

Те места магнита, где обнаруживаются наиболее сильные магнитные действия, называют *полюсами магнита* (рис. 109). У всякого магнита, как и у известной нам магнитной стрелки, обязательно есть два полюса: *северный* (N) и *южный* (S).

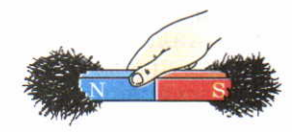


Рис. 109. Полюса магнита

Поднося магнит к предметам, изготовленным из различных материалов, можно установить, что магнитом притягиваются очень немногие из них. Хорошо притягиваются магнитом чугун, сталь, железо и некоторые сплавы, значительно слабее никель и кобальт.

В природе встречаются естественные магниты (рис. 110) — железная руда (так называемый магнитный железняк). Богатые залежи магнитного железняка имеются на Урале, в Карелии, Курской области и во многих других местах.



Рис. 110. Притяжение металлических тел естественным магнитом

Железо, сталь, никель, кобальт и некоторые другие сплавы в присутствии магнитного железняка приобретают магнитные свойства.

Магнитный железняк позволил людям впервые ознакомиться с магнитными свойствами тел. Перечислим основные из этих свойств.

Если магнитную стрелку приблизить к другой такой же стрелке, то они повернутся и установятся друг против друга противоположными полюсами (рис. 111).



Рис. 111. Взаимодействие магнитных стрелок

Так же взаимодействует стрелка и с любым магнитом.

Поднося к полюсам магнитной стрелки магнит, можно заметить, что северный полюс стрелки отталкивается от северного полюса магнита и притягивается к южному полюсу. Южный полюс стрелки отталкивается от юж-

ного полюса магнита и притягивается северным полюсом.

На основании описанных опытов можно сделать следующее заключение: разноимённые магнитные полюсы притягиваются, одноимённые отталкиваются. Это правило относится и к электромагнитам.

Взаимодействие магнитов объясняется тем, что вокруг любого магнита имеется ***магнитное поле***. Магнитное поле одного магнита действует на другой магнит, и, наоборот, магнитное поле второго магнита действует на первый.

С помощью железных опилок можно получить представление о виде магнитного поля постоянных магнитов.

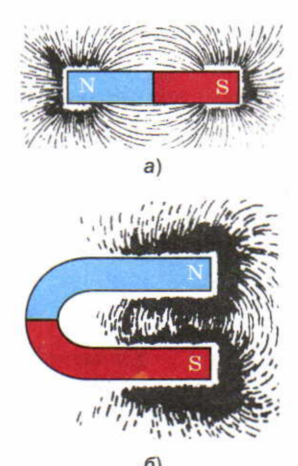
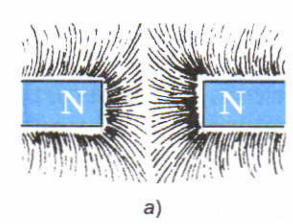
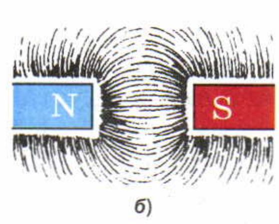


Рис. 112. Картина магнитного поля полосового и дугообразного магнитов

Рисунок 112, *а* даёт представление о картине магнитного поля полосового магнита, а рисунок 112, *б* — о картине магнитного поля дугообразного магнита. Как магнитные линии магнитного поля тока, так и магнитные линии магнитного поля магнита — замкнутые линии. Вне магнита магнитные линии выходят из северного полюса магнита и входят в южный, замыкаясь внутри магнита, так же как магнитные линии катушки с током.



а)



б)

Рис. 113. Магнитные линии магнитного поля, созданного двумя магнитами

На рисунке 113, *а* показаны магнитные линии магнитного поля двух магнитов, обращённых друг к другу одноимёнными полюсами, а на рисунке 113, *б* — двух магнитов, обращённых друг к другу разноимёнными полюсами.

Все описанные выше картины можно легко получить на опыте.



1. Какие тела называют постоянными магнитами? **2.** Как Ампер объяснял намагничивание железа? **3.** Как можно теперь объяснить молекулярные токи Ампера? **4.** Что называют магнитными полюсами магнита? **5.** Как взаимодействуют между собой полюсы магнитов? **6.** Как можно получить представление о магнитном поле магнита?

УПРАЖНЕНИЕ 42

1. Предложите способ определения полюсов намагниченного стального стержня.
2. Какую форму надо придать проводу, чтобы при наличии тока в нём силовые линии его магнитного поля были расположены так же, как у полосового магнита?



ЗАДАНИЕ

1. Дугообразный магнит поднесите к листу картона. Магнит не притянет его. Затем положите картон на мелкие гвозди и снова поднесите магнит. Лист картона поднимется, а за ним и гвозди. Объясните явление.
2. Положите дугообразный магнит на край стола. Тонкую иглу с ниткой положите на один из полюсов магнита. Затем осторожно потяните иглу за нить, пока игла не соскочит с полюса магнита. Игла зависает в воздухе (рис. 114). Объясните явление.

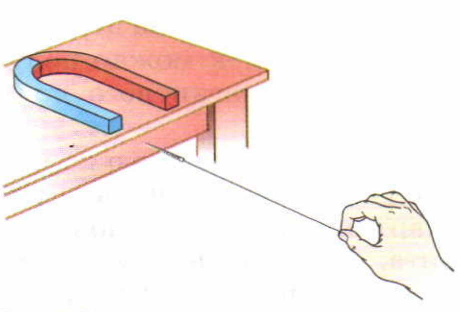


Рис. 114

§ 61 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

С глубокой древности известно, что магнитная стрелка, свободно вращающаяся вокруг вертикальной оси, всегда устанавливается в данном месте Земли в определённом направлении (если вблизи неё нет магнитов, проводников с током, железных предметов). Этот факт объясняется тем, что *вокруг Земли существует магнитное поле* и магнитная стрелка устанавливается вдоль его магнитных линий. На этом и основано применение компаса (рис. 115), который представляет собой свободно вращающуюся на оси магнитную стрелку.

Наблюдения показывают, что при приближении к Северному географическому полюсу Земли магнитные линии магнитного поля Зем-

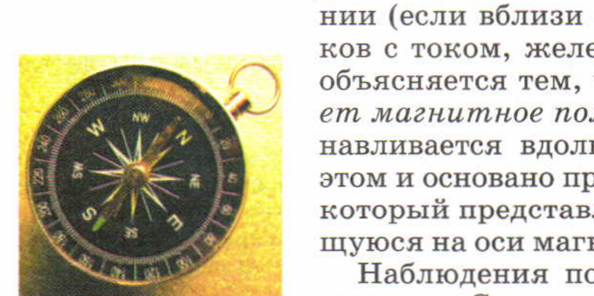


Рис. 115. Компас

ли всё под бо́льшим углом наклоняются к горизонту и около 75° северной широты и 99° западной долготы становятся вертикальными, входя в Землю (рис. 116). Здесь в настоящее время находится *Южный магнитный полюс Земли*, он удалён от Северного географического полюса примерно на 2100 км.

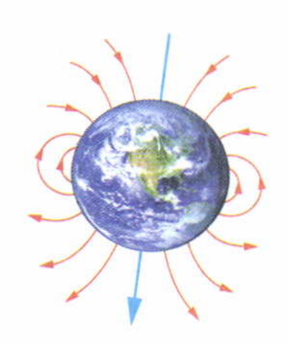
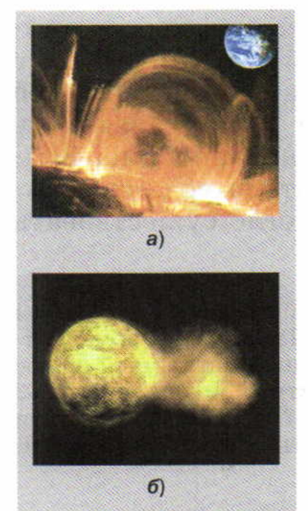


Рис. 116. Магнитные линии магнитного поля Земли

Северный магнитный полюс Земли находится вблизи Южного географического полюса, а именно на 66,5° южной широты и 140° восточной долготы. Здесь магнитные линии магнитного поля Земли выходят из Земли.

Таким образом, *магнитные полюсы Земли не совпадают с её географическими полюсами*. В связи с этим направление магнитной стрелки не совпадает с направлением географического меридиана. Поэтому магнитная стрелка компаса лишь приблизительно показывает направление на север.



а)

б)

Магнитные бури:
а — на Солнце;
б — на Земле

Иногда внезапно возникают так называемые *магнитные бури*, кратковременные изменения магнитного поля Земли, которые сильно влияют на стрелку компаса. Наблюдения показывают, что появление магнитных бурь связано с солнечной активностью.

В период усиления солнечной активности с поверхности Солнца в мировое пространство выбрасываются потоки заряженных частиц, электронов и протонов. Магнитное поле, образуемое движущимися заряженными частицами, изменяет магнитное поле Земли и вызывает магнитную бурю. Магнитные бури — явление кратковременное.

На земном шаре встречаются области, в которых направление магнитной стрелки постоянно отклонено от направления магнитной линии Земли. Такие области называют областями ***магнитной аномалии*** (в пер. с лат. «отклонение, ненормальность»).

Одна из самых больших магнитных аномалий — Курская магнитная аномалия. Причи-


Курская магнитная аномалия

ной таких аномалий являются огромные залежи железной руды на сравнительно небольшой глубине.

Земной магнетизм ещё окончательно не объяснён. Установлено только, что большую роль в изменении магнитного поля Земли играют разнообразные электрические токи, текущие как в атмосфере (особенно в верхних её слоях), так и в земной коре.

Большое внимание изучению магнитного поля Земли уделяют при полётах искусственных спутников и космических кораблей.

Установлено, что земное магнитное поле надёжно защищает поверхность Земли от космического излучения, действие которого на живые организмы разрушительно. В состав космического излучения, кроме электронов, протонов, входят и другие частицы, движущиеся в пространстве с огромными скоростями.

Полёты межпланетных космических станций и космических кораблей на Луну и вокруг Луны позволили установить отсутствие у неё магнитного поля. Сильная намагниченность пород лунного грунта, доставленного на Землю, позволяет учёным сделать вывод, что миллиарды лет назад у Луны могло существовать магнитное поле.



1. Чем объяснить, что магнитная стрелка устанавливается в данном месте Земли в определённом направлении? 2. Где находятся магнитные полюсы Земли? 3. Как показать, что Южный магнитный полюс Земли находится на севере, а Северный магнитный полюс — на юге? 4. Чем объясняют появление магнитных бурь? 5. Что такое области магнитной аномалии? 6. Где находится область, в которой наблюдается большая магнитная аномалия?

УПРАЖНЕНИЕ 43

1. Почему стальные рельсы, долго лежащие на складах, через некоторое время оказываются намагниченными?
2. Почему на судах, предназначенных для экспедиций по изучению земного магнетизма, запрещается использовать материалы, которые намагничиваются?

ЗАДАНИЕ

1. Подготовьте доклад на тему «Компас, история его открытия».
2. Поместите внутрь глобуса полосовой магнит. С помощью полученной модели ознакомьтесь с магнитными свойствами магнитного поля Земли.
3. Используя Интернет, подготовьте презентацию по теме «История открытия Курской магнитной аномалии».

Это любопытно...

Зачем нужно магнитное поле планетам

Известно, что Земля обладает мощным магнитным полем. Магнитное поле Земли окутывает область околоземного космического пространства. Эту область называют *магнитосферой,* хотя по своей форме она сферой не является. Магнитосфера — самая внешняя и протяжённая оболочка Земли.

Земля постоянно находится под воздействием *солнечного ветра* — потока очень маленьких частиц (протонов, электронов, а также ядер и ионов гелия и др.). При вспышках на Солнце скорость этих частиц резко возрастает, и они с огромными скоростями распространяются в космическом пространстве. Если на Солнце вспышка, значит, через несколько дней следует ожидать возмущения магнитного поля Земли. Магнитное поле Земли служит своеобразным щитом, оберегая нашу планету и всё живое на ней от воздействия солнечного ветра и космических лучей. Магнитосфера способна изменить траекторию этих частиц, направляя их к полюсам планеты. В районах полюсов частицы собираются в верхних слоях атмосферы и вызывают изумительной красоты *северные* и *южные сияния.* Здесь же происходит зарождение магнитных бурь.

При вторжении частиц солнечного ветра в магнитосферу, происходит нагрев атмосферы, усиление ионизации её верхних слоёв, возникновение электромагнитных шумов. При этом возникают помехи в радиосигналах, скачки напряжения, которые могут вывести из строя электрооборудование.

Магнитные бури оказывают влияние и на погоду. Они способствуют возникновению циклонов и увеличению облачности.

Учёными многих стран доказано, что магнитные возмущения оказывают воздействие на живые организмы, растительный мир и на самого человека. Исследования показали, что у людей, подверженных сердечно-сосудистым заболеваниям, с изменением солнечной активности возможны обострения. Могут возникнуть перепады артериального давления, учащённое сердцебиение, пониженный тонус.


Северное сияние

Наиболее сильные магнитные бури и магнитосферные возмущения приходятся на период роста солнечной активности.

А существует ли магнитное поле у планет Солнечной системы? Наличие или отсутствие магнитного поля планет объясняется их внутренним строением.

Самое сильное магнитное поле у планет-гигантов. Юпитер является не только самой большой планетой, но и обладает самым большим магнитным полем, превосходящим магнитное поле Земли в 12 000 раз. Магнитное поле Юпитера, окутывая его, распространяется на расстояние 15 радиусов планеты (радиус Юпитера 69 911 км). Сатурн, как и Юпитер, имеет мощную магнитосферу, возникающую из-за металлического водорода, который в жидком состоянии находится в глубине Сатурна. Любопытно, что Сатурн — единственная планета, у которой ось вращения планеты практически совпадает с осью магнитного поля.

Учёные утверждают, что и Уран, и Нептун обладают мощными магнитными полями. Но вот что интересно: магнитная ось Урана отклонена от оси вращения планеты на 59°, Нептуна — на 47°. Такая ориентация магнитной оси относительно оси вращения придаёт магнитосфере Нептуна довольно оригинальную и своеобразную форму. Она постоянно видоизменяется по мере вращения планеты вокруг своей оси. А вот магнитосфера Урана по мере удаления от планеты закручивается в длинную спираль. Учёные полагают, что магнитное поле планеты обладает двумя северными и двумя южными магнитными полюсами.

Исследования показали, что магнитное поле Меркурия в 100 раз меньше земного, а у Венеры оно незначительное. При изучении Марса аппараты «Марс-3» и «Марс-5» обнаружили магнитное поле, которое концентрируется в южном полушарии планеты. Учёные полагают, что такая форма поля может быть вызвана гигантскими столкновениями планеты.

Так же как и у Земли, магнитное поле других планет Солнечной системы отражает солнечный ветер, защищая их от разрушительного воздействия радиоактивного излучения Солнца.

§ 62 ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ

Мы знаем, что проводники с токами взаимодействуют друг с другом с некоторой силой (§ 37). Это объясняется тем, что на каждый

проводник с током действует магнитное поле тока другого проводника.

Вообще *магнитное поле действует с некоторой силой на любой проводник с током, находящийся в этом поле*.

На рисунке 117, *а* изображён проводник AB, подвешенный на гибких проводах, которые присоединены к источнику тока. Проводник AB помещён между полюсами дугообразного магнита, т. е. находится в магнитном поле. При замыкании электрической цепи проводник приходит в движение (рис. 117, *б*).

Направление движения проводника зависит от направления тока в нём и от расположения полюсов магнита. В данном случае ток направлен от A к B, и проводник отклонился влево. При изменении направления тока на противоположное проводник переместится вправо. Точно так же проводник изменит направление движения при изменении расположения полюсов магнита.

Практически важное значение имеет вращение проводника с током в магнитном поле.

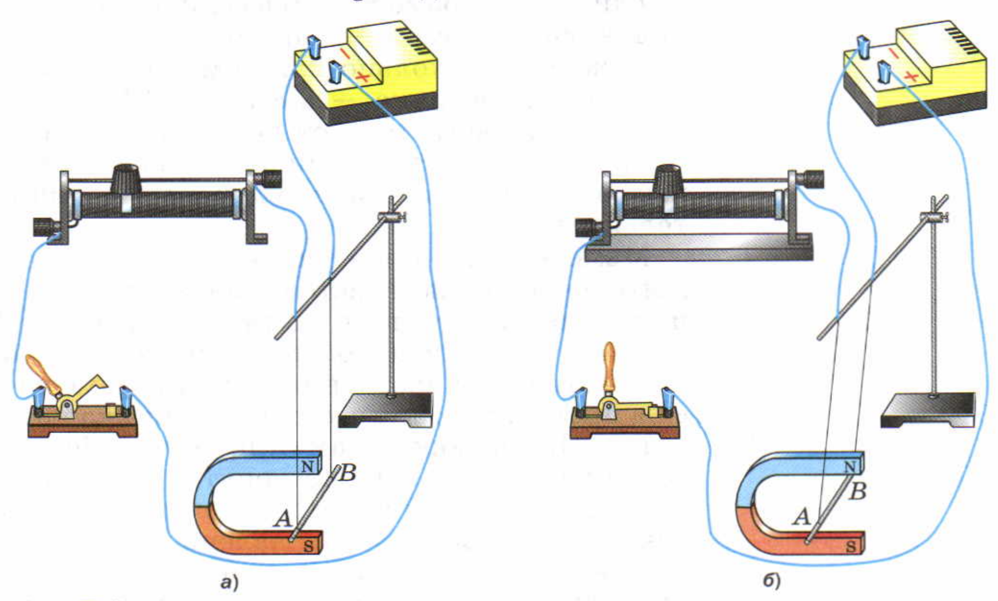


Рис. 117. Действие магнитного поля на проводник с током

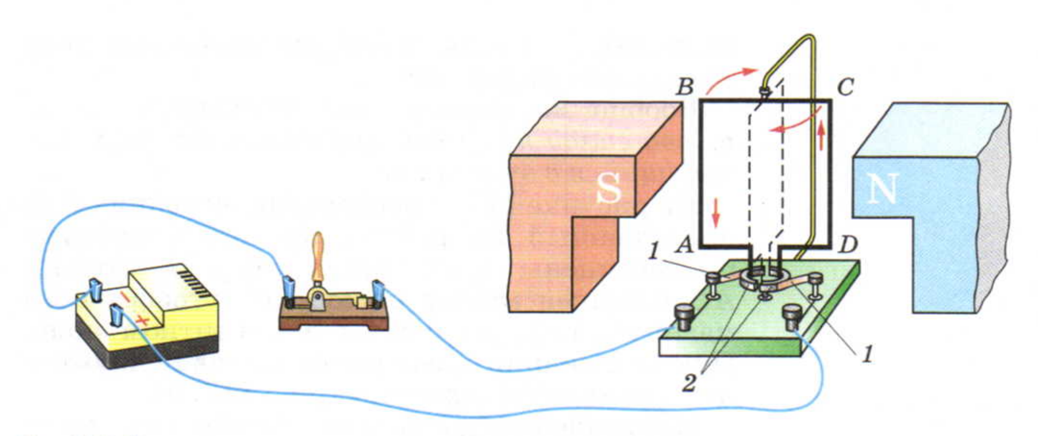


Рис. 118. Вращение рамки с током в магнитном поле

На рисунке 118 изображён прибор, с помощью которого можно продемонстрировать такое движение. В этом приборе лёгкая прямоугольная рамка $ABCD$ насажена на вертикальную ось. На рамке уложена обмотка, состоящая из нескольких десятков витков проволоки, покрытой изоляцией. Концы обмотки присоединены к металлическим *полукольцам 2*: один конец обмотки присоединён к одному полукольцу, другой — к другому.

Каждое полукольцо прижимается к металлической пластинке — *щётке 1*. Щётки служат для подвода тока от источника к рамке. Одна щётка всегда соединена с положительным полюсом источника, а другая — с отрицательным.

Мы знаем, что ток в цепи направлен от положительного полюса источника к отрицательному, следовательно, в частях рамки AB и DC он имеет противоположное направление, поэтому эти части проводника будут перемещаться в противоположные стороны и рамка повернётся. При повороте рамки присоединённые к её концам полукольца повернутся вместе с ней и каждое прижмётся к другой щётке, поэтому ток в рамке изменит направление на противоположное. Это нужно для того, чтобы рамка продолжала вращаться в том же направлении.



ЯКОБИ БОРИС СЕМЁНОВИЧ

(1801—1874)

Русский физик. Прославился открытием гальванопластики. Построил первый электродвигатель, телеграфный аппарат, печатающий буквы.

Вращение катушки с током в магнитном поле используется в устройстве *электрического двигателя.*

В технических электродвигателях обмотка состоит из большого числа витков проволоки. Эти витки укладывают в пазы (прорези), сделанные вдоль боковой поверхности железного цилиндра. Этот цилиндр нужен для усиления магнитного поля. На рисунке 119 изображена схема такого устройства, оно называется ***якорем двигателя.*** На схеме (она дана в перпендикулярном сечении) витки проволоки показаны кружочками.

Магнитное поле, в котором вращается якорь такого двигателя, создаётся сильным электромагнитом. Электромагнит питается током от того же источника тока, что и обмотка якоря.

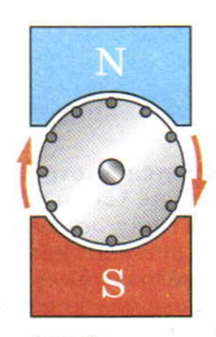


Рис. 119. Схема якоря двигателя

Вал двигателя, проходящий по центральной оси железного цилиндра, соединяют с прибором, который приводится двигателем во вращение.

Двигатели постоянного тока нашли особенно широкое применение на транспорте (электровозы, трамваи, троллейбусы).

Есть специальные безыскровые электродвигатели, которые применяют в насосах для выкачивания нефти из скважин.

В промышленности применяют двигатели, работающие на переменном токе (их вы будете изучать в старших классах).



Якорь электродвигателя

Электрические двигатели обладают рядом преимуществ. При одинаковой мощности они имеют меньшие размеры, чем тепловые двигатели. При работе они не выделяют газов, дыма и пара, а значит, не загрязняют воздух. Им не нужен запас топлива и воды. Электродвигатели можно установить в удобном месте: на станке, под полом трамвая, на тележке электровоза. Можно изготовить электрический двигатель лю-

бой мощности: от нескольких ватт (в электробритвах) до сотен и тысяч киловатт (на экскаваторах, прокатных станах, кораблях).

Коэффициент полезного действия мощных электрических двигателей достигает 98%. Такого высокого КПД не имеет никакой другой двигатель.

Один из первых в мире электрических двигателей, пригодных для практического применения, был изобретён русским учёным ***Борисом Семёновичем Якоби*** в 1834 г.

? Вопросы

1. Как показать, что магнитное поле действует на проводник с током, находящийся в этом поле? 2. Пользуясь рисунком 117, объясните, от чего зависит направление движения проводника с током в магнитном поле. 3. При помощи какого прибора можно осуществить вращение проводника с током в магнитном поле? При помощи какого устройства в рамке меняют направление тока через каждые пол-оборота? 4. Опишите устройство технического электродвигателя. 5. Где применяются электрические двигатели? Каковы их преимущества по сравнению с тепловыми? 6. Кто и когда изобрёл первый электродвигатель, пригодный для практического применения?

ЗАДАНИЕ

1. Вращение рамки с током в магнитном поле используется в устройстве электрических измерительных приборов. На рисунке 120, *а* показана схема устройства одного из таких приборов. Между полюсами постоянного магнита (или электромагнита) располагается лёгкая катушка К, внутри которой находится неподвижный железный сердечник С. Катушка расположена горизонтально. Ток в неё поступает по металлическим пружинкам П. При отсутствии тока пружинки удерживают катушку в горизонтальном положении, а прикреплённую к ней стрелку — на нулевом делении шкалы. Объясните, как действует прибор.

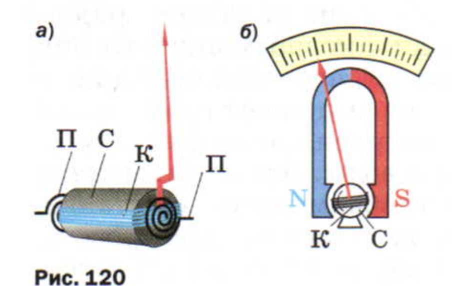
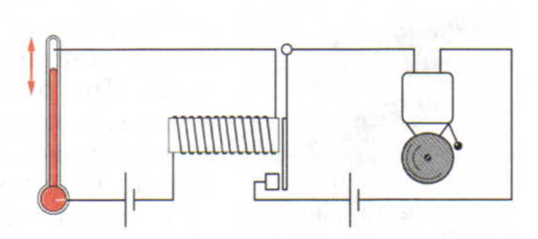


Рис. 120


Рис. 121

2. На рисунке 121 изображён автомат, с помощью которого включается звонок, когда температура в помещении поднимается выше нормы. Назовите все части автомата. Объясните его действие. В каких случаях целесообразно применять такие автоматы? Приведите примеры.

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- Вокруг любого проводника с током, т. е. вокруг движущихся электрических зарядов, существует **магнитное поле**.
- Магнитное поле создаётся не только электрическим током, но и *постоянными магнитами*.
- С направлением тока в проводнике связано направление магнитных линий магнитного поля. Это направление указывает северный полюс магнитной стрелки в каждой точке поля.
- При изменении направления тока в проводнике на противоположное магнитные стрелки поворачиваются на 180°. Это указывает на соответствующее изменение направления силовых линий поля.
- Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими.
- *Северный магнитный полюс Земли* находится вблизи Южного географического полюса.
- *Южный магнитный полюс Земли* находится вблизи Северного географического полюса.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. Магнитное поле существует:
   А. вокруг неподвижных электрических зарядов
   Б. вокруг движущихся электрических зарядов и постоянных магнитов
   В. только вокруг постоянных магнитов
   Г. ни в одном из перечисленных случаев

2. Опыт Эрстеда доказал, что:
   А. вокруг проводника с током существует магнитное поле
   Б. вокруг проводника с током не существует магнитного поля
   В. проводник с током взаимодействует с магнитной стрелкой
   Г. два параллельных проводника с током взаимодействуют друг с другом

3. Магнитные линии магнитного поля представляют собой:
   А. замкнутые кривые, охватывающие проводник
   Б. прямые линии, расположенные по направлению тока в проводнике
   В. линии, расположенные против направления тока в проводнике
   Г. линии, перпендикулярные проводнику с током

4. Вокруг катушки с током:
   А. возникает магнитное поле
   Б. не возникает магнитное поле
   В. в одних случаях возникает магнитное поле, в других исчезает

5. В электродвигателе происходит преобразование:
   А. энергии движущихся зарядов в механическую работу
   Б. кинетической энергии молекул в механическую работу
   В. кинетической энергии в потенциальную
   Г. механической энергии в энергию электрического тока



1. Выполните задания, предложенные в электронном приложении.
2. На сайте http://class-fizika.narod.ru найдите тесты по теме «Электромагнитные явления» и проверьте себя.

Глава 4 СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 63 ИСТОЧНИКИ СВЕТА. РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА

Ещё в глубокой древности учёные интересовались природой света. Что такое свет? Почему одни предметы цветные, а другие белые или чёрные?

Опытным путём было установлено, что свет нагревает тела, на которые он падает. Следовательно, он передаёт этим телам энергию. Вам уже известно, что одним из видов теплопередачи является излучение. *Свет — это излучение*, но лишь та его часть, которая воспринимается глазом. В этой связи свет называют ***видимым излучением***.

Поскольку свет — это излучение, то ему присущи все особенности этого вида теплопередачи. Это значит, что перенос энергии может осуществляться в вакууме, а энергия излучения частично поглощается телами, на которые оно падает. Вследствие этого тела нагреваются.

Тела, от которых исходит свет, являются *источниками света*. Источники света подразделяются на *естественные* и *искусственные*.

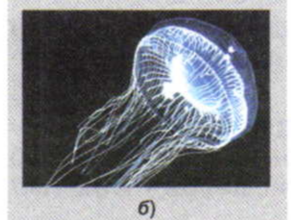
Естественные источники света — это Солнце, звёзды, атмосферные разряды, а также светящиеся объекты животного и растительного мира. Это могут быть светлячки, гнилушки и пр.

Искусственные источники света, в зависимости от того, какой процесс лежит в основе получения излучения, разделяют на тепловые и люминесцирующие.

К тепловым относят электрические лампочки, пламя газовой горелки, свечи и др.



а)



б)

Естественные источники света:
а — светлячок;
б — медуза



а)



б)

Искусственные источники света: *а* — свеча; *б* — люминесцентная лампа

Люминесцирующими источниками являются люминесцентные и газосветовые лампы.

Мы видим не только источники света, но и тела, которые не являются источниками света, — книгу, ручку, дома, деревья и др. Эти предметы мы видим только тогда, когда они освещены. Излучение, идущее от источника света, попав на предмет, меняет своё направление и попадает в глаз.

На практике все источники света имеют размеры. При изучении световых явлений мы будем пользоваться понятием ***точечный источник света***.

Если размеры светящегося тела намного меньше расстояния, на котором мы оцениваем его действие, то светящееся тело можно считать точечным источником.

Громадные звёзды, во много раз превосходящие Солнце, воспринимаются нами как точечные источники света, так как находятся на колоссальном расстоянии от Земли.

Ещё одно понятие, которым мы будем пользоваться в этом разделе, — ***световой луч***.

Световой луч — это линия, вдоль которой распространяется энергия от источника света.

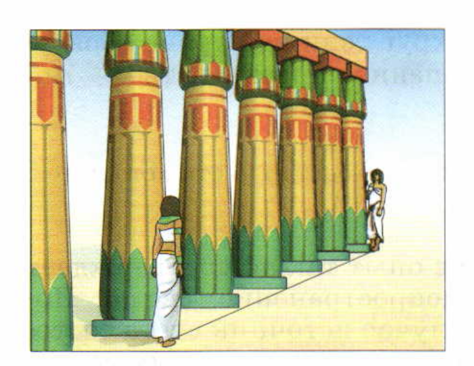
Если между глазом и каким-нибудь источником света поместить непрозрачный предмет, то источник света мы не увидим. Объясняется это тем, что в однородной среде свет распространяется *прямолинейно*.



Звёздное небо

Прямолинейное распространение света — факт, установленный в глубокой древности. Об этом писал ещё основатель геометрии ***Евклид*** (300 лет до нашей эры).

Древние египтяне использовали закон прямолинейного распространения света для установления колонн по прямой линии. Колонны располагались так, чтобы из-за ближайшей


Рис. 122. Применение закона прямолинейного распространения света

к глазу колонны не были видны все остальные (рис. 122).

Прямолинейностью распространения света в однородной среде объясняется образование *тени* и *полутени*. Тени людей, деревьев, зданий и других предметов хорошо наблюдаются на Земле в солнечный день.

На рисунке 123 показана тень, полученная на экране при освещении точечным источником света S непрозрачного шара A. Поскольку шар непрозрачен, то он не пропускает свет, падающий на него. В результате на экране образуется ***тень***.

Тень — это та область пространства, в которую не попадает свет от источника.

Такую тень можно получить в тёмной комнате, освещая шар карманным фонарём. Если провести прямую через точки S и A (см. рис. 123), то на ней будет лежать и точка B. Прямая SB является лучом света, который касается шара в точке A. Если бы свет распространялся не прямолинейно, то тень могла бы не образоваться. Такую чёткую тень мы получили потому, что расстояние между источником света и экраном намного больше, чем размеры лампочки.

Теперь возьмём большую лампу, размеры которой будут сравнимы с расстоянием до эк-

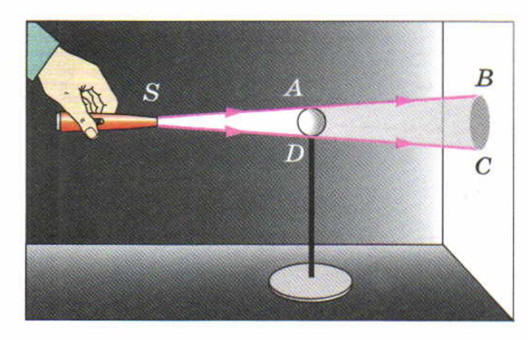


Рис. 123. Получение тени

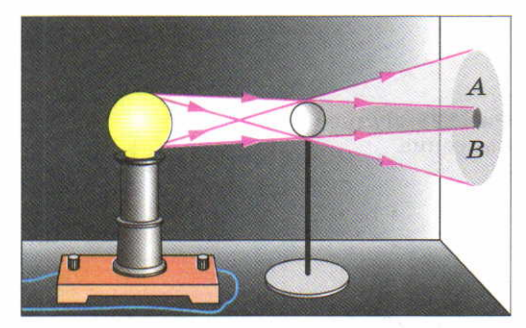


Рис. 124. Получение полутени

рана (рис. 124). Вокруг тени на экране образуется частично освещённое пространство — ***полутень***.

Полутень — это та область, в которую попадает свет от части источника света.

Описанный выше опыт также подтверждает прямолинейное распространение света. Поскольку в данном случае источник света состоит из множества точек и каждая из них испускает лучи, то на экране имеются области, в которые свет от одних точек попадает, а от других нет. Там и образуется полутень. Это области *A* и *B*.

Часть поверхности экрана окажется совершенно неосвещённой. Это центральная область экрана. Здесь наблюдается ***полная тень***.

Образованием тени при падении света на непрозрачный предмет объясняются такие явления, как затмения Солнца и Луны.

При движении вокруг Земли Луна может оказаться между Землёй и Солнцем или Земля — между Луной и Солнцем. В этих случаях наблюдаются *солнечные* или *лунные затмения*.

Во время лунного затмения Луна попадает в тень, отбрасываемую Землёй (рис. 125).

Во время солнечного затмения (рис. 126) тень от Луны падает на Землю.

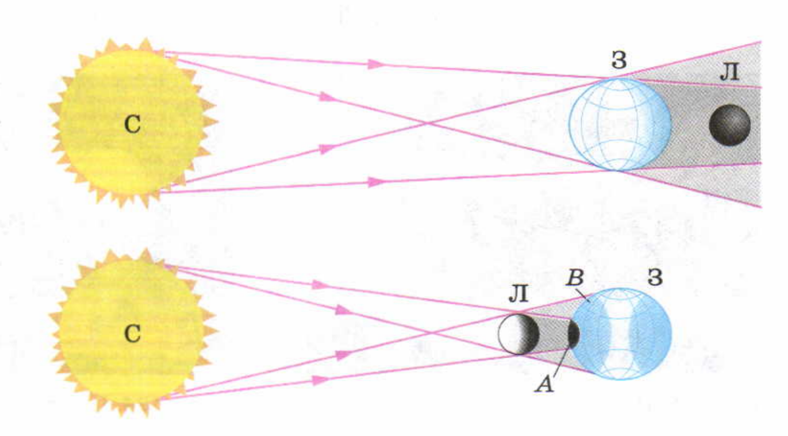


Рис. 125. Лунное затмение

Рис. 126. Солнечное затмение

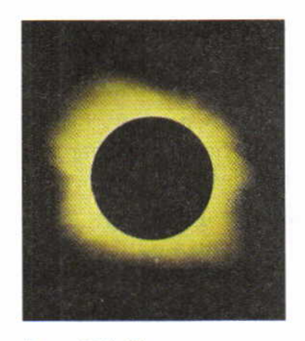


Рис. 127. Солнечная корона

В тех местах Земли, куда упала тень, будет наблюдаться *полное затмение* Солнца. В местах полутени только часть Солнца будет закрыта Луной, т. е. произойдёт ***частное затмение*** Солнца. В остальных местах на Земле затмение наблюдаться не будет.

Поскольку движения Земли и Луны хорошо изучены, то затмения предсказываются на много лет вперёд. Учёные пользуются каждым затмением для разнообразных научных наблюдений и измерений. Полное солнечное затмение даёт возможность наблюдать внешнюю часть атмосферы Солнца (солнечную корону, рис. 127). В обычных условиях солнечная корона не видна из-за ослепительного блеска поверхности Солнца.



1. Что такое луч света? **2.** В чём состоит закон прямолинейного распространения света? **3.** Какое явление служит доказательством прямолинейного распространения света? **4.** Пользуясь рисунком 123, объясните, как образуется тень. **5.** При каких условиях наблюдается не только тень, но и полутень? **6.** Пользуясь рисунком 124, объясните, почему в некоторых областях экрана получается полутень.

УПРАЖНЕНИЕ 44

1. Какие источники света изображены на рисунке 128?



Рис. 128

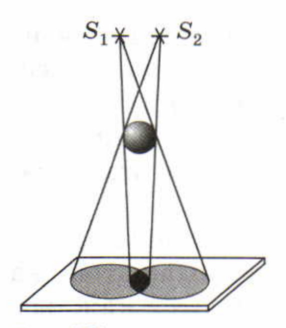


Рис. 129

2. На рисунке 129 изображена схема опыта по получению тени от двух источников света S_1 и S_2. Источник S_1 — маленькая лампочка красного цвета, источник S_2 — синего. Перечертите схему в тетрадь и раскрасьте рисунок. Объясните, почему опыт доказывает прямолинейность распространения света.

3. При солнечном затмении на Землю падает тень и полутень от Луны (см. рис. 126). Видит ли Солнце человек, находящийся в области тени; полутени? Ответ обоснуйте.

ЗАДАНИЕ

1. В куске плотного картона сделайте отверстие диаметром 3—5 мм. Расположите этот кусок картона на расстоянии примерно 10—15 см от стены, находящейся против окна. На стене вы увидите уменьшенное, перевёрнутое, слабо освещённое изображение окна. Получение такого изображения предмета через малое отверстие служит ещё одним доказательством прямолинейного распространения света. Объясните наблюдаемое явление.

2. Чтобы получить изображение предмета при помощи малого отверстия, изготовьте прибор, называемый «камера-обскура» (тёмная комната). Для этого картонную или деревянную коробку обклейте чёрной бумагой, в середине одной из стенок проделайте маленькое отверстие (примерно 3—5 мм в диаметре), а противоположную стенку замените матовым стеклом или плотной бумагой. Получите при помощи изготовленной камеры-обскуры изображение хорошо освещённого предмета. Такие камеры раньше использовали для фотографирования, но только неподвижных объектов, так как выдержка должна была составлять несколько часов.

3. Подготовьте презентацию по теме «Солнечные и лунные затмения».

§ 64 ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СВЕТИЛ

Солнце и движущиеся вокруг него небесные тела составляют Солнечную систему. Звёзды, которые мы видим невооружённым глазом, — это ничтожная доля звёзд, входящих в нашу Галактику. Вид звёздного неба меняется в зависимости от местонахождения наблюдателя на Земле. Так, суточное движение Солнца для

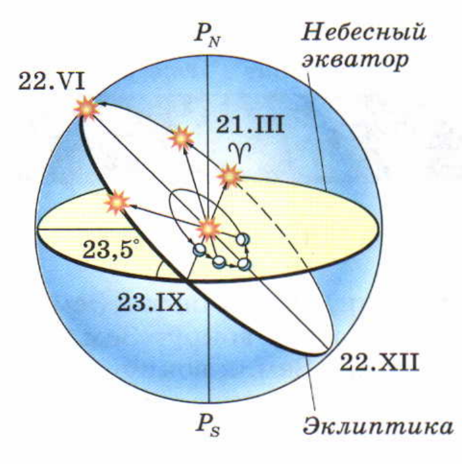


Рис. 130. Движение Солнца по эклиптике

жителей Северного полушария — это движение слева направо, для жителей Южного полушария — справа налево. Путь, который проходит Солнце за год на фоне звёзд, называют ***эклиптикой*** (рис. 130), а период одного оборота по эклиптике называют ***звёздным годом***. Он равен 365,2564 средних солнечных суток. Созвездия, через которые проходит эклиптика, называют ***зодиакальными***. Их число соответствует количеству месяцев в году. Солнце перемещается по небу, переходя из одного созвездия в другое, и завершает полный оборот в течение года.

Видимое движение Солнца по эклиптике подтверждает, что Земля движется вокруг Солнца (рис. 131). Солнце движется по эклиптике неравномерно. Дневная и ночная части его пути неодинаковы. Они равны только в дни равноденствия, когда Солнце находится на небесном экваторе.

Земля является одной из планет Солнечной системы. Она обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите и вращается вокруг собственной оси. Движение Земли вокруг Солнца и некоторый наклон земной оси приводят к смене времён года. При движении Земли вокруг

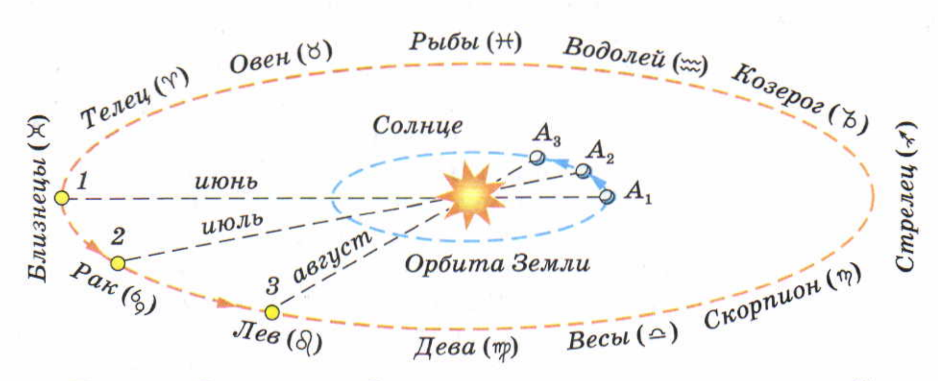


Рис. 131. Движение Земли вокруг Солнца и кажущееся годичное движение Солнца



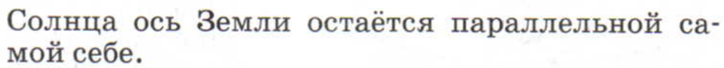


Рис. 132. Фазы Луны

Солнца ось Земли остаётся параллельной самой себе.

Луна — спутник Земли, ближайшее к Земле небесное тело. Она вращается вокруг Земли в том же направлении, что и Земля вокруг своей оси, а вместе с Землёй обращается вокруг Солнца.





Смена лунных фаз

Луна движется довольно быстро, так что её движение можно заметить в течение одной ночи. Луна не излучает света, поэтому на небе видна только освещённая Солнцем её поверхность — дневная сторона. Перемещаясь по небу с запада на восток, Луна за месяц догоняет и перегоняет Солнце. При этом происходит смена лунных фаз: *новолуние*, *первая четверть*, *полнолуние*, *последняя четверть* (рис. 132). В новолуние Луну не разглядеть даже в телескоп, так как она располагается в том же направлении, что и Солнце, и повёрнута к Земле неосвещённым полушарием. Когда Луна оказывается в стороне, противоположной Солнцу, наступает полнолуние. Полная Луна светит всю ночь. Путь Луны по небу проходит недалеко от эклиптики, поэтому полная Луна поднимается из-за горизонта при заходе Солнца.

Движение планет среди звёзд более сложное, чем движение Солнца и Луны. Все планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении. Планета, двигаясь в том же направлении, что и Солнце и Луна, через некоторое время замедляет свой ход, затем останавливается, смещается в обратном направлении и после очередной остановки снова меняет направление движения на первоначальное. Если нанести на карту этот путь, то получается петля

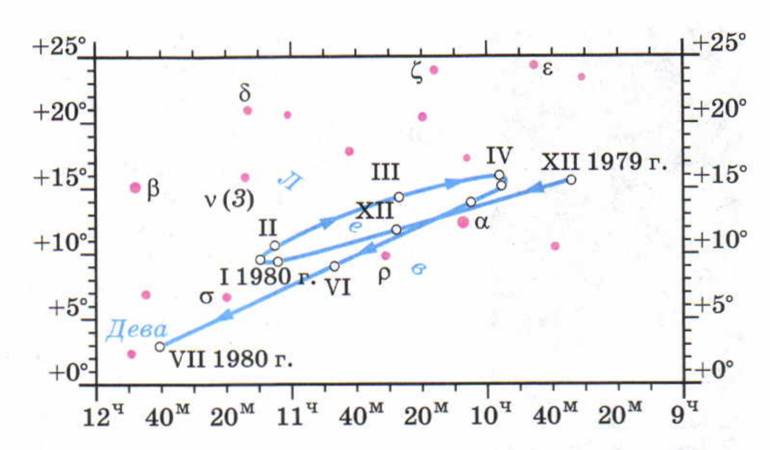


Рис. 133. Петлеобразное движение планет

(рис. 133). Невооружённым взглядом на небе можно увидеть пять планет: Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн.



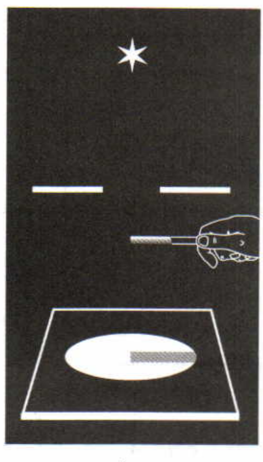
1. Как движется Солнце в течение года? **2.** Какие фазы Луны вам известны? **3.** Как движутся планеты?

ЗАДАНИЕ

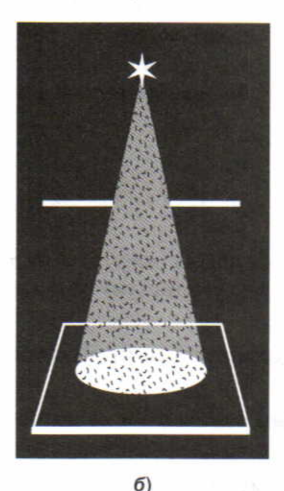
1. С помощью «Школьного астрономического календаря» изучите вид звёздного неба в мае. Сначала на карте определите Большую Медведицу, а затем найдите её на вечернем небе.
2. Используя астрономический календарь, определите на ночном небе Сатурн.
3. По рисунку 130 определите, когда наступают дни осеннего и весеннего равноденствия.
4. С помощью рисунка 130 определите, когда отмечают дни летнего и зимнего солнцестояния. Почему их ещё называют днями солнцеворота?

§ 65 ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА

Вам уже известно, что свет от источника или от освещённого тела воспринимается человеком, если лучи света попадают в глаза. Как будет вести себя свет, если на его пути имеется преграда? Чтобы узнать это, проделаем следующий опыт.



а)



б)

Рис. 134. Падение лучей света на экран

От источника *S* направим через щель пучок света на экран. Экран будет освещён, но между источником и экраном мы ничего не увидим (рис. 134, *а*). Теперь между источником и экраном разместим какой-либо предмет: руку, листок бумаги. В этом случае излучение, достигнув поверхности предмета, отражается, изменяет своё направление и попадает в наши глаза, т. е. он становится виден.

Если запылить воздух между экраном и источником света, то становится видимым весь пучок света (рис. 134, *б*). Пылинки отражают свет и направляют его в глаза наблюдателя.

Это явление часто наблюдается, когда лучи солнца проникают в запылённый воздух комнаты.

Известно, что в солнечный день при помощи зеркала можно получить световой «зайчик» на стене, полу, потолке. Объясняется это тем, что пучок света, падая на зеркало, отражается от него, т. е. изменяет своё направление. Световой «зайчик» — это след отражённого пучка света на каком-либо экране. На рисунке 135 показано отражение света от зеркальной поверхности.

Линия *MN* — поверхность раздела двух сред (воздух, зеркало). На эту поверхность из точки *S* падает пучок света. Его направление задано лучом *SO*. Направление отражённого пучка показано лучом *OB*. Луч *SO* — ***падающий луч***, луч *OB* — ***отражённый луч***. Из точки падения луча *O* проведён перпендикуляр *OC* к поверхности *MN*. Угол *SOC*, образованный падающим лучом *SO* и перпендикуляром, называется ***углом падения*** (α). Угол *COB*, образованный тем же перпендикуляром *OC* и отражённым лучом, называется ***углом отражения*** (β).

При изменении угла падения луча будет меняться и угол отражения. Это явление удобно наблюдать на специальном приборе (рис. 136). Прибор представляет собой диск на подставке. На диск нанесена круговая шкала с ценой де-

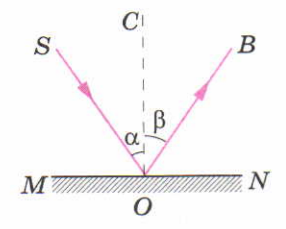


Рис. 135. Отражение света от зеркальной поверхности

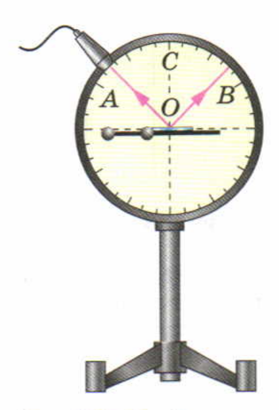


Рис. 136. Прибор для наблюдения изменения угла падения света

ления 10°. По краю диска можно передвигать осветитель, дающий узкий пучок света. Закрепим в центре диска зеркальную пластинку и направим на неё пучок света (см. рис. 136). Если пучок света падает под углом 45°, то под таким же углом он и отражается от зеркала. Передвигая осветитель по краю диска, будем менять угол падения луча и каждый раз отмечать соответствующий ему угол отражения. Во всех случаях угол отражения равен углу падения луча. При этом лучи отражённый и падающий лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведённым к зеркалу в точке падения луча. Таким образом, отражение света происходит по следующему закону: ***лучи падающий и отражённый лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведённым к границе раздела двух сред в точке падения луча.***

Угол падения α равен углу отражения β.

$$\angle \alpha = \angle \beta.$$

Если луч падает на зеркало в направлении *BO* (см. рис. 135), то отражённый луч пойдёт в направлении *OS*. Следовательно, падающий и отражённый лучи могут меняться местами. Это свойство лучей (падающего и отражённого) называется ***обратимостью световых лучей.***

Всякая незеркальная, т. е. шероховатая, негладкая, поверхность рассеивает свет, так как на ней имеются небольшие выступы и углубления.

Такую поверхность можно представить в виде целого ряда малых плоских поверхностей, расположенных под разными углами друг к другу. Поэтому падающий на такую поверхность свет отражается по разным направлениям.

? Вопросы

1. Пользуясь рисунком 135, расскажите содержание опытов, на основании которых были установлены законы отражения света. **2.** Какой угол называют углом падения; углом отражения? **3.** Сформулируйте законы отражения света. **4.** Какое свойство лучей называется обратимостью?

УПРАЖНЕНИЕ 45

1. Угол падения луча на зеркало равен 45°. Начертите отражённый луч. На этом же чертеже покажите расположение лучей для случая, когда угол падения равен 60°.
2. Угол падения луча на зеркало равен 0°. Чему равен угол отражения?
3. Перечертите в тетрадь рисунок 137. Постройте для каждого случая положение отражённого или падающего луча.

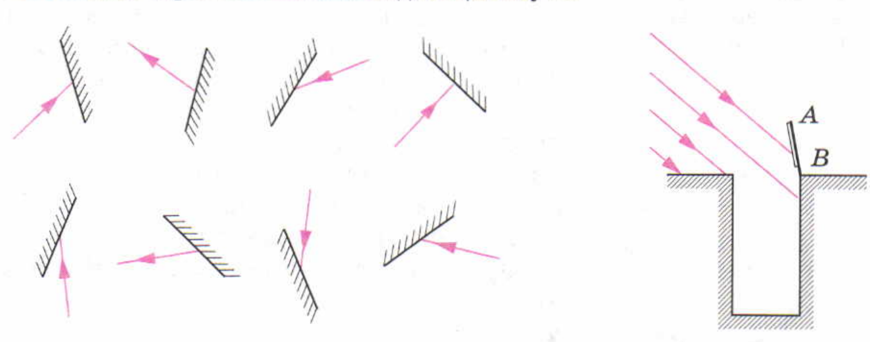


Рис. 137

Рис. 138

4. Высота солнца такова, что его лучи составляют с горизонтом угол 40°. Сделайте чертёж (рис. 138) и покажите на нём, как нужно расположить зеркало AB, чтобы «зайчик» попал на дно колодца.

§ 66 ПЛОСКОЕ ЗЕРКАЛО

Рассмотрим изображение предмета в плоском зеркале. ***Плоским зеркалом*** называют плоскую поверхность, зеркально отражающую свет. Изображение предмета в плоском зеркале образуется за зеркалом, т. е. там, где предмета нет на самом деле. Как это получается?

Пусть из точечного источника света S падают на зеркало MN расходящиеся лучи SO, SO_1, SO_2 (рис. 139). По закону отражения луч SO отражается от зеркала под углом 0°; луч SO_1 — под углом $\beta_1 = \alpha_1$; луч SO_2 отражается под углом $\beta_2 = \alpha_2$. В глаз попадает расходящий-

Рис. 139. Изображение предмета в плоском зеркале

ся пучок света. Если продолжить отражённые лучи за зеркало, то они сойдутся в точке S_1. В глаз попадает расходящийся пучок света, исходящий как будто бы из точки S_1. Эта точка называется ***мнимым изображением точки S***.


Мнимое изображение предмета в зеркале

Рассмотрим, как располагался источник света и его мнимое изображение относительно зеркала. По рисунку 139 можно доказать, пользуясь признаками равенства треугольников, что $S_1O = OS$. Это значит, что изображение предмета находится на таком же расстоянии за зеркалом, на каком предмет расположен перед зеркалом.

Сделанный вывод подтверждает и другой опыт. Укрепим на подставке кусок плоского стекла в вертикальном положении. Поставив перед стеклом зажжённую свечу (рис. 140), мы увидим в стекле, как в зеркале, изображение свечи. Возьмём теперь вторую такую же, но незажжённую свечу и расположим её по другую сторону стекла. Передвигая вторую свечу, найдём такое положение, при котором вторая свеча будет казаться тоже зажжённой. Это значит, что незажжённая свеча находится на том же месте, где наблюдается изображение зажжённой свечи. Измерив расстояние от свечи до стекла и от её изображения до стекла, убедимся, что эти расстояния одинаковы.

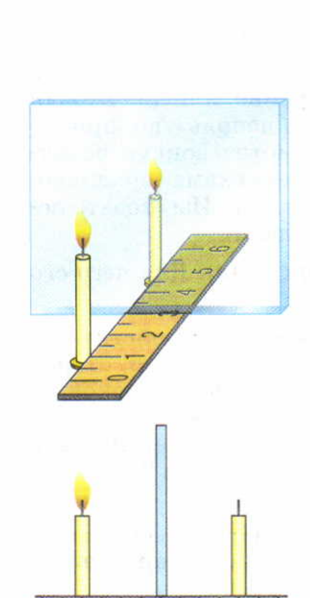


Рис. 140. Получение мнимого изображения

Таким образом, *мнимое изображение предмета в плоском зеркале находится на таком же расстоянии от зеркала, на каком находится сам предмет*.

Опыт также показывает, что высота изображения свечи равна высоте самой свечи. Это значит, что *размеры изображения предмета в плоском зеркале равны размерам предмета*.

Предмет и его изображение в плоском зеркале представляют собой не тождественные, а симметричные фигуры.

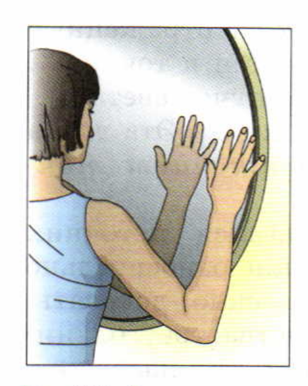


Рис. 141. Зеркальное изображение руки

Например, зеркальное изображение правой руки представляет собой как будто бы левую руку (рис. 141).

Плоским зеркалом широко пользуются и в быту, и в технике при создании различных устройств и приборов.



Вопросы

1. Пользуясь рисунком 139, объясните, как строится изображение точки в зеркале. 2. Почему изображение точки в плоском зеркале называется мнимым? 3. Пользуясь рисунком 140, расскажите содержание опыта, поясняющего особенности изображения предмета в плоском зеркале. 4. Какие особенности имеет изображение предмета в плоском зеркале?

УПРАЖНЕНИЕ 46



Рис. 142

1. Используя рисунок 139, докажите, что изображение точки расположено за зеркалом на таком же расстоянии, на каком точка находится перед зеркалом.
2. Для наблюдения за поверхностью моря с подводной лодки, идущей на небольшой глубине, или для наблюдения за местностью из бункера используют прибор *перископ* (от греч. *перескопо* — смотрю вокруг, осматриваю). На рисунке 142 изображена схема зеркального перископа. Объясните его действие. Изготовьте перископ и выполните с ним наблюдения.
3. Объясните действия прибора (рис. 143). Для чего его можно использовать?
4. На заднем колесе велосипеда имеется устройство, отражающее падающий на него свет (например, от фар идущего сзади автомобиля), его называют уголковым отражателем. Простейший отражатель, применяемый для этой цели, может быть изготовлен из двух плоских зеркал, расположенных под углом 90° друг к другу.

   Докажите, что падающие на такие зеркала лучи отразятся в направлении, противоположном направлению их падения.

   В промышленных уголковых отражателях используют три плоских зеркала, расположенных под углами 90° друг к другу.

   Начертите схему такого отражателя.

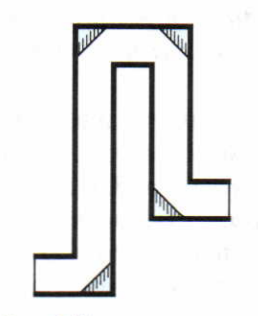


Рис. 143

Это любопытно...

Как Архимед поджёг римский флот

Существует легенда о том, что Архимед с помощью зеркал сжёг римские корабли во время войны в 212 г. до н. э., когда греческий город Сиракузы подвергся осаде римлян. До вражеских кораблей было очень далеко, около 150 м, и обстреливать их из катапульт, сконструированных Архимедом, не представлялось возможным. Архимед предложил отполировать до блеска щиты и сфокусировать лучи солнца на римских триерах. Греческие воины выполнили указания Архимеда, и вражеские корабли загорелись.

Другая легенда гласит, что Архимеду поджечь вражеские корабли помогли женщины Сиракуз. По его указу они поднялись на крепостную стену и направили солнечные лучи с помощью отполированной до блеска медной посуды на корабли римлян и подожгли их. Противник вынужден был отступить.

Ещё по одной версии Архимед вместе с древнегреческими учёными соорудил машину, состоящую из огромного бронзового многоугольного зеркала, набранного из небольших четырёхугольных зеркал. Каждое зеркало было закреплено на шарнирах, благодаря чему можно было подбирать углы поворота так, чтобы отражённые солнечные лучи фокусировались в одной точке. Но эту легенду, как и все предыдущие, учёные опровергли.



Старинная гравюра «Архимед, направляющий лучи на корабли римлян»

Некоторым учёным удалось повторить опыты, описанные в легендах об Архимеде. У других все попытки поджечь дерево на расстояние более 50 м успехом не увенчались.

А вот итальянские учёные в XX в. утверждали, что зеркала могли использоваться, но только для того, чтобы ослепить противника. Как только римские воины были ослеплены, греки запускали катапульты из смеси серы, смолы и селитры с крепостных стен по вражеским кораблям, и они загорались. Учёные полагают, что Архимед разработал метательный аппарат, в котором тетива спускалась в момент, когда ось стрелы совмещалась с «солнечным зайчиком». Скорее всего, когда вражеский флот подходил на расстояние порядка 50 м, зеркала расчехлялись и в корабли летели стрелы, наводимые «солнечными зайчиками».

Легенда о том, что Архимед с помощью зеркал поджёг римский флот, так и остаётся легендой, а попытки доказать или опровергнуть осаду Сиракуз продолжаются и поныне.

§ 67 ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Рассмотрим, как меняется направление луча при переходе его из воздуха в воду. В воде скорость света меньше, чем в воздухе. Среда, в которой скорость распространения света меньше, является *оптически более плотной средой*.

Таким образом, ***оптическая плотность среды характеризуется различной скоростью распространения света.***

Это значит, что скорость распространения света больше в оптически менее плотной среде. Например, в вакууме скорость света равна 300 000 км/с, а в стекле — 200 000 км/с. Когда световой пучок падает на поверхность, разделяющую две прозрачные среды с разной оптической плотностью, например воздух и воду, то часть света отражается от этой поверхности, а другая часть проникает во вторую среду. При переходе из одной среды в другую луч света изменяет направление на границе сред (рис. 144). Это явление называется ***преломлением света.***

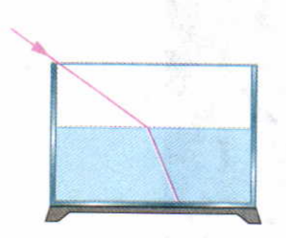


Рис. 144. Преломление света при переходе луча из воздуха в воду

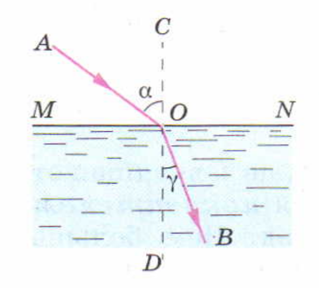


Рис. 145. Схема преломления луча света при переходе из воздуха в воду

Рассмотрим преломление света подробнее. На рисунке 145 показаны: ***падающий луч*** *AO*, ***преломлённый луч*** *OB* и перпендикуляр к поверхности раздела двух сред, проведённый в точку падения *O*. Угол *AOC* — ***угол падения*** (α), угол *DOB* — ***угол преломления*** (γ).

Луч света при переходе из воздуха в воду меняет своё направление, приближаясь к перпендикуляру *CD*.

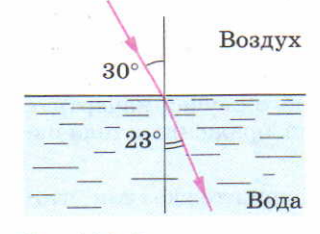
Вода — среда оптически более плотная, чем воздух. Если воду заменить какой-либо иной прозрачной средой, оптически более плотной, чем воздух, то преломлённый луч также будет приближаться к перпендикуляру. Поэтому можно сказать, что если свет идёт из среды оптически менее плотной в более плотную среду, то угол преломления всегда меньше угла падения (см. рис. 145):

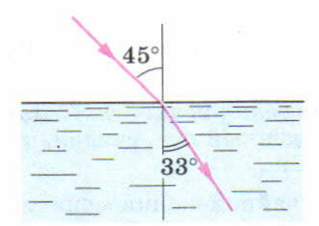
$$\gamma < \alpha.$$

Луч света, направленный перпендикулярно к границе раздела двух сред, проходит из одной среды в другую без преломления.

При изменении угла падения меняется и угол преломления. Чем больше угол падения, тем больше угол преломления (рис. 146). При этом отношение между углами не сохраняется. Если составить отношение синусов углов падения и преломления, то оно остаётся постоянным.

$$\frac{\sin 30°}{\sin 23°} = \frac{\sin 45°}{\sin 33°} = \frac{\sin 60°}{\sin 42°} \cong 1{,}3.$$





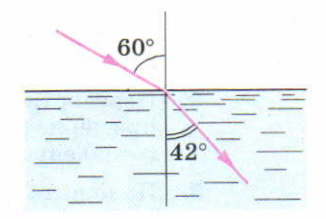


Рис. 146. Зависимость угла преломления от угла падения

Для любой пары веществ с различной оптической плотностью можно написать:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n,$$

где n — постоянная величина, не зависящая от угла падения. Она называется ***показателем преломления*** для двух сред. Чем больше показатель преломления, тем сильнее преломляется луч при переходе из одной среды в другую.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n$$

Таким образом, преломление света происходит по следующему закону: ***лучи падающий, преломлённый и перпендикуляр, проведённый к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости.***

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух сред:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n.$$

В атмосфере Земли происходит преломление света, поэтому мы видим звёзды и Солнце выше их истинного расположения на небе.

? Вопросы

1. Как меняется направление луча света (см. рис. 144) после того, как в сосуд наливают воду? **2.** Какие выводы получены из опытов по преломлению света (см. рис. 144, 145)? **3.** Какие положения выполняются при преломлении света?

УПРАЖНЕНИЕ 47

1. Угол падения луча из воздуха в стекло равен 0°. Чему равен угол преломления?
2. Перечертите в тетрадь рисунок 147. Для каждого случая начертите примерно преломлённый луч, считая, что все изображённые тела изготовлены из стекла.
3. Положите на дно чайной чашки монету и расположите глаз так, чтобы край чашки закрывал её. Если в чашку налить воду, то монета станет видна (рис. 148). Почему?

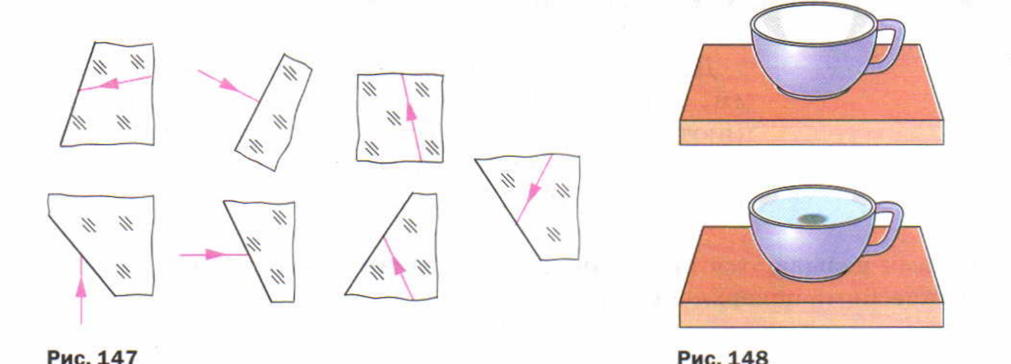


Рис. 147

Рис. 148

4. В оптике часто приходится иметь дело с прохождением света сквозь тело, имеющее форму призмы, клина (рис. 149, *а*). Луч, падающий на призму (например, на её боковую грань), преломляется дважды: при входе в призму и при выходе из неё.



Рис. 149

Перечертите в тетрадь изображённое на рисунке 149, *б* сечение призмы (треугольник) и падающий на её грань луч. Постройте ход луча сквозь призму. Покажите, что при прохождении сквозь треугольную призму такой луч отклоняется к основанию треугольника.

5. В каждой из трёх закрытых коробок (они показаны на рисунке 150 в виде чёрных квадратов) находится одна или две треугольные призмы; показан ход лучей через эти призмы. Нарисуйте расположение призм в этих коробках.

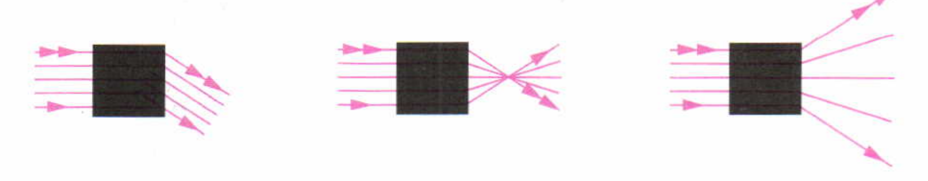


Рис. 150

§ 68 ЛИНЗЫ. ОПТИЧЕСКАЯ СИЛА ЛИНЗЫ

Для того чтобы управлять световыми пучками, т. е. изменять направление лучей, применяют специальные приборы, например лупу, микроскоп. Основной частью этих приборов является ***линза***.

Линзами называются прозрачные тела, ограниченные с двух сторон сферическими поверхностями.

Линзы бывают двух видов — *выпуклые* и *вогнутые*.

Линза, у которой края намного тоньше, чем середина, является ***выпуклой*** (рис. 151, *а*).

Линза, у которой края толще, чем середина, является ***вогнутой*** (рис. 151, *б*).



Рис. 151. Виды линз: *а* — выпуклые; *б* — вогнутые

Прямая AB, проходящая через центры C_1 и C_2 (рис. 152) сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называется ***оптической осью***.

Направив на выпуклую линзу пучок лучей, параллельных оптической оси линзы, мы увидим, что после преломления в линзе эти лучи пересекают оптическую ось в одной точке (рис. 153). Эта точка называется ***фокусом***

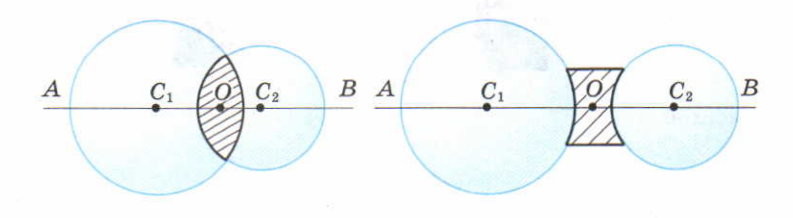


Рис. 152. Оптическая ось линзы

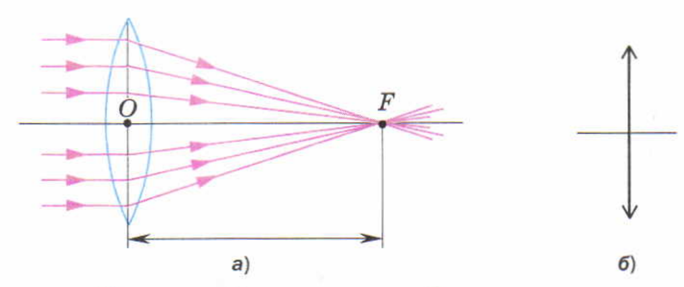


Рис. 153. Собирающая линза: *а* — прохождение лучей через фокус; *б* — изображение её на схемах

линзы. У каждой линзы два фокуса — по одному с каждой стороны линзы.

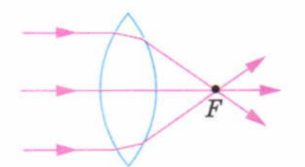
Расстояние от линзы до её фокуса называется ***фокусным расстоянием линзы*** и обозначается буквой *F*.

Если на выпуклую линзу направить пучок параллельных лучей, то после преломления в линзе они соберутся в одной точке — *F* (см. рис. 153). Следовательно, выпуклая линза собирает лучи, идущие от источника. Поэтому выпуклая линза называется ***собирающей***.

При прохождении лучей через вогнутую линзу наблюдается другая картина.

Пустим пучок лучей, параллельных оптической оси, на вогнутую линзу. Мы заметим, что лучи из линзы выйдут расходящимся пучком (рис. 154). Если такой расходящийся пучок лучей попадёт в глаз, то наблюдателю будет казаться, что лучи выходят из точки *F*. Эта точка находится на оптической оси с той же стороны, с какой падает свет на линзу, и называется ***мнимым фокусом*** вогнутой линзы. Такую линзу называют ***рассеивающей***.

Рис. 154. Рассеивающая линза: *а* — прохождение лучей через фокус; *б* — изображение её на схемах



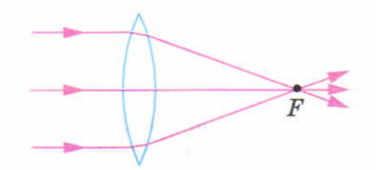


Рис. 155. Преломление лучей линзами различной кривизны

Рис. 156. Увеличение линзы

Линзы с более выпуклыми поверхностями преломляют лучи сильнее, чем линзы с меньшей кривизной (рис. 155).

$$D = \frac{1}{F}$$

Если у одной из двух линз фокусное расстояние короче, то она даёт большее увеличение (рис. 156). Оптическая сила такой линзы больше.

Линзы характеризуются величиной, которая называется ***оптической силой линзы***. Оптическая сила обозначается буквой D.

Оптическая сила линзы — это величина, обратная её фокусному расстоянию.

Оптическая сила линзы рассчитывается по формуле

$$D = \frac{1}{F}.$$



Собирающая линза

За единицу оптической силы принята *диоптрия* **(дптр)**.

1 диоптрия — это оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м.

Если фокусное расстояние линзы меньше 1 м, то оптическая сила будет больше 1 дптр. В случае, когда фокусное расстояние линзы

больше 1 м, её оптическая сила меньше 1 дптр. Например,

$$\text{если } F = 0{,}2 \text{ м, то } D = \frac{1}{0{,}2 \text{ м}} = 5 \text{ дптр,}$$

$$\text{если } F = 2 \text{ м, то } D = \frac{1}{2 \text{ м}} = 0{,}5 \text{ дптр.}$$

Поскольку у рассеивающей линзы фокус мнимый, то условились считать её фокусное расстояние отрицательной величиной. Тогда и оптическая сила рассеивающей линзы будет отрицательной.

Оптическую силу собирающей линзы условились считать положительной величиной.



1. Как по внешнему виду линз можно узнать, у какой из них короче фокусное расстояние? 2. Какая из двух линз, имеющих разные фокусные расстояния, даёт большее увеличение? 3. Какую величину называют оптической силой линзы? 4. Как называется единица оптической силы? 5. Оптическая сила какой линзы принимается за единицу? 6. Чем отличаются друг от друга линзы, оптическая сила одной из которых равна +2,5 дптр, а другой −2,5 дптр?



УПРАЖНЕНИЕ 48

1. По рисунку 155 сравните оптические силы изображённых на нём линз.
2. Оптическая сила линзы равна −1,6 дптр. Каково фокусное расстояние этой линзы? Можно ли с её помощью получить действительное изображение?

§ 69 ИЗОБРАЖЕНИЯ, ДАВАЕМЫЕ ЛИНЗОЙ

С помощью линз можно не только собирать или рассеивать лучи света, но, как вам хорошо известно, и получать различные изображения предмета. С помощью собирающей линзы попытаемся получить изображение светящейся лампочки или свечи.

Рассмотрим приёмы построения изображений. Для построения точки достаточно всего двух лучей. Поэтому выбирают два таких луча,

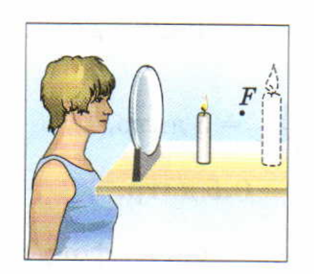


Рис. 157. Прямое изображение свечи

ход которых известен. Это луч, параллельный оптической оси линзы, который, проходя сквозь линзу, пересечёт оптическую ось в фокусе. Второй луч проходит через центр линзы и не меняет своего направления.

Вы уже знаете, что по обе стороны от линзы на её оптической оси находится фокус линзы F. Если поместить свечу между линзой и её фокусом, то с той же стороны от линзы, где находится свеча, мы увидим увеличенное изображение свечи, её *прямое* изображение (рис. 157).

Если свечу расположить за фокусом линзы, то её изображение пропадёт, но по другую сторону от линзы, далеко от неё, появится новое изображение. Это изображение будет *увеличенным* и *перевёрнутым* по отношению к свече.

Расстояние от источника света до линзы возьмём больше двойного фокусного расстояния линзы (рис. 158). Его обозначим буквой d, $d > 2F$. Передвигая за линзой экран, мы можем получить на нём *действительное, уменьшенное* и *перевёрнутое* изображение источника света (предмета). Относительно линзы изображение будет находиться между фокусом и двойным фокусным расстоянием, т. е.

$$F < f < 2F.$$

Такое изображение можно получить с помощью фотоаппарата.

Если приближать предмет к линзе, то его перевёрнутое изображение будет удаляться от линзы, а размеры изображения станут увеличиваться. Когда предмет окажется между точками F и $2F$, т. е. $F < d < 2F$, его *действительное, увеличенное* и *перевёрнутое* изображение будет находиться за двойным фокусным расстоянием линзы (рис. 159)

$$2F < f.$$

Если предмет поместить между фокусом и линзой, т. е. $d < F$, то его изображение на экра-

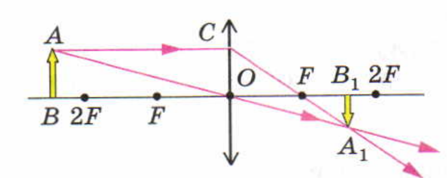


Рис. 158. Изображение, даваемое линзой, когда расстояние от источника света больше двойного фокуса

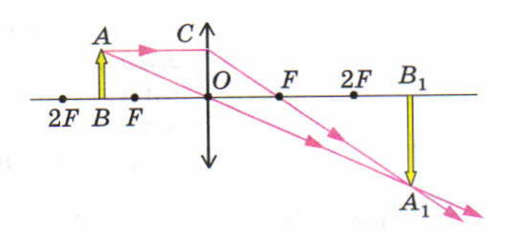


Рис. 159. Изображение, даваемое линзой, когда предмет находится между фокусом и двойным фокусом

не не получится. Посмотрев на свечу через линзу, мы увидим *мнимое, прямое* и *увеличенное* изображение (рис. 160). Оно находится между фокусом и двойным фокусом, т. е.

$$F < f < 2F.$$

Таким образом, *размеры и расположение изображения предмета в собирающей линзе зависят от положения предмета относительно линзы.*

В зависимости от того, на каком расстоянии от линзы находится предмет, можно получить или увеличенное изображение ($F < d < 2F$), или уменьшенное ($d > 2F$).

Рассмотрим построение изображений, получаемых с помощью рассеивающей линзы.

Поскольку лучи, проходящие через неё, расходятся, то рассеивающая линза не даёт действительных изображений.

На рисунке 161 показано построение изображения предмета в рассеивающей линзе.

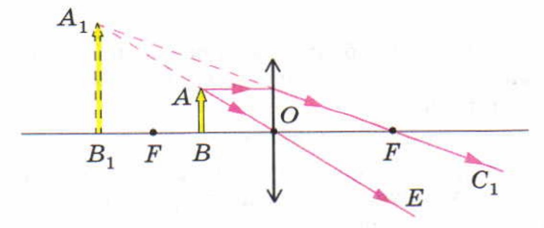


Рис. 160. Изображение, даваемое линзой, когда предмет находится между фокусом и линзой

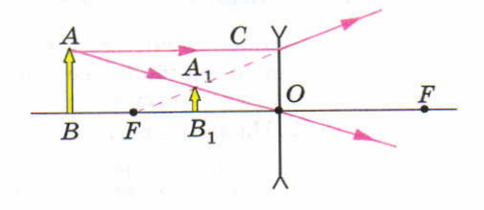


Рис. 161. Построение изображения в рассеивающей линзе

Рассеивающая линза даёт *уменьшенное, мнимое, прямое* изображение, которое находится по ту же сторону от линзы, что и предмет. Оно не зависит от положения предмета относительно линзы.



Вопросы

1. Какое свойство линз позволяет широко использовать их в оптических приборах? 2. В зависимости от чего меняются изображения, даваемые собирающей линзой? 3. По рисункам 159 и 160 расскажите, как строилось изображение предмета и каковы свойства этого изображения. Где оно расположено? 4. Пользуясь рисунком 158, расскажите, при каких условиях линза даёт уменьшенное, действительное изображение предмета. 5. Почему изображения предметов на рисунках 158 и 159 являются действительными? 6. Приведите примеры использования линз в оптических приборах. 7. Почему вогнутая линза не даёт действительного изображения? 8. По рисунку 161 расскажите, как строится изображение в рассеивающей линзе. Каким оно бывает?

УПРАЖНЕНИЕ 49

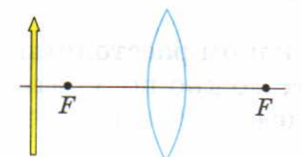


Рис. 162

1. Постройте изображение предмета, находящегося в двойном фокусе собирающей линзы. Укажите свойства этого изображения.
2. Постройте изображение предмета, расположение которого показано на рисунке 162.
3. Постройте изображение предмета, расположенного от собирающей линзы на расстоянии $4F$ и $3F$.
4. Предмет расположен на расстоянии $4F$ от собирающей линзы. Его передвигают, приближая к линзе. Как будет меняться изображение предмета? Куда оно будет перемещаться?

УКАЗАНИЯ К УПРАЖНЕНИЮ 49

Чтобы научиться правильно строить изображение предмета, даваемое линзой и более сложными оптическими приборами, чертёж нужно выполнять в такой последовательности:

1. Изобразить линзу и начертить её оптическую ось.
2. По обе стороны от линзы отложить её фокусные расстояния и двойные фокусные расстояния (на чертеже они имеют произвольную длину, но по обе стороны от линзы одинаковую).
3. Изобразить предмет там, где это указано в задании.
4. Начертить ход двух лучей, исходящих от крайней точки предмета.

5. Используя точку пересечения лучей, прошедших сквозь линзу (действительную или мнимую), нарисовать изображение предмета.

6. Сделать вывод: какое изображение получено и где оно расположено.

§ 70 ГЛАЗ И ЗРЕНИЕ

Глаз иногда называют живым фотоаппаратом, так как оптическая система глаза, дающая изображение, сходна с объективом фотоаппарата, но она значительно сложнее.

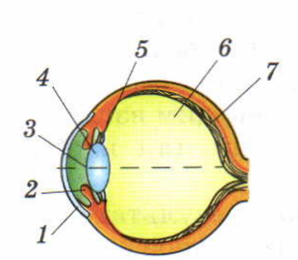


Рис. 163. Глаз человека

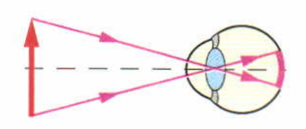
Глаз человека (и многих животных) имеет почти шарообразную форму (рис. 163), он защищён плотной оболочкой, называемой *склерой*. Передняя часть склеры — *роговая оболочка 1* прозрачна. За роговой оболочкой (роговицей) расположена *радужная оболочка 2*, которая у разных людей может иметь разный цвет. Между роговицей и радужной оболочкой находится *водянистая жидкость*.

В радужной оболочке есть отверстие — *зрачок 3*, диаметр которого в зависимости от освещения может изменяться примерно от 2 до 8 мм. Меняется он потому, что радужная оболочка способна раздвигаться. За зрачком расположено прозрачное тело, по форме похожее на собирающую линзу, — это *хрусталик 4*, он окружён *мышцами 5*, прикрепляющими его к склере.

За хрусталиком расположено *стекловидное тело 6*. Оно прозрачно и заполняет всю остальную часть глаза. Задняя часть склеры — глазное дно — покрыто *сетчатой оболочкой 7* (*сетчаткой*). Сетчатка состоит из тончайших волокон, которые, как ворсинки, устилают глазное дно. Они представляют собой разветвлённые окончания *зрительного нерва*, чувствительные к свету.

Как получается и воспринимается глазом изображение?

Свет, падающий в глаз, преломляется на передней поверхности глаза, в роговице, хруста-


Рис. 164. Формирование изображения на сетчатке глаза

лике и стекловидном теле (т. е. в оптической системе глаза), благодаря чему на сетчатке образуется действительное, уменьшенное, перевёрнутое изображение рассматриваемых предметов (рис. 164).

Свет, падая на окончания зрительного нерва, из которых состоит сетчатка, раздражает эти окончания. Раздражения по нервным волокнам передаются в мозг, и человек получает зрительное впечатление, видит предметы. Процесс зрения корректируется мозгом, поэтому предмет мы воспринимаем прямым.

А каким образом создаётся на сетчатке чёткое изображение, когда мы переводим взгляд с удалённого предмета на близкий или наоборот?

В оптической системе глаза в результате его эволюции выработалось замечательное свойство, обеспечивающее получение изображения на сетчатке при разных положениях предмета. Что же это за свойство?

Кривизна хрусталика, а значит, и его оптическая сила могут изменяться. Когда мы смотрим на дальние предметы, то кривизна хрусталика сравнительно невелика, потому что мышцы, окружающие его, расслаблены. При переводе взгляда на близлежащие предметы мышцы сжимают хрусталик, его кривизна, а следовательно, и оптическая сила увеличиваются.

Способность глаза приспосабливаться к видению как на близком, так и на далёком расстоянии называется *аккомодацией* глаза (в пер. с лат. «приспособление»). Предел аккомодации наступает, когда предмет находится на расстоянии 12 см от глаза. Расстояние наилучшего видения (это расстояние, при котором детали предмета можно рассматривать без напряжения) для нормального глаза равно 25 см. Это следует учитывать, когда пишете, читаете, шьёте и т. п.

Какое преимущество даёт зрение двумя глазами?

Во-первых, мы видим большее пространство, т. е. увеличивается поле зрения. Во-вторых, зрение двумя глазами позволяет различать, какой предмет находится ближе и какой — дальше от нас. Дело в том, что на сетчатках правого и левого глаза получаются отличные друг от друга изображения, мы как бы видим предметы слева и справа. Чем ближе предмет, тем заметнее это различие, оно и создаёт впечатление разницы в расстояниях, хотя, конечно, изображения сливаются в нашем сознании в одно. Благодаря зрению двумя глазами мы видим предмет объёмным, не плоским.



1. Как получается и воспринимается изображение глазом? **2.** Как создаётся чёткое изображение на сетчатке, когда переводят взгляд с удалённого предмета на близкий? **3.** Какое преимущество даёт зрение двумя глазами?

ЗАДАНИЕ

1. Используя дополнительную литературу и Интернет, начертите схему построения изображения в фотоаппарате.
2. Подготовьте презентацию о современных фотоаппаратах и их использовании в быту и технике.

Это любопытно...

Близорукость и дальнозоркость. Очки

Благодаря аккомодации изображение рассматриваемых предметов получается как раз на сетчатке глаза. Это выполняется, если глаз нормальный.

Глаз называется *нормальным*, если он в ненапряжённом состоянии собирает параллельные лучи в точке, лежащей на сетчатке (рис. 165, *а*). Наиболее распространены два недостатка глаза — *близорукость* и *дальнозоркость*.

Близоруким называется такой глаз, у которого фокус при спокойном состоянии глазной мышцы лежит внутри глаза (рис. 165, *б*). Близорукость

может быть обусловлена бо́льшим удалением сетчатки от хрусталика по сравнению с нормальным глазом. Если предмет расположен на расстоянии 25 см от близорукого глаза, то изображение предмета получится не на сетчатке (как у нормального глаза), а ближе к хрусталику, впереди сетчатки. Чтобы изображение оказалось на сетчатке, нужно приблизить предмет к глазу. Поэтому у близорукого глаза расстояние наилучшего видения меньше 25 см.

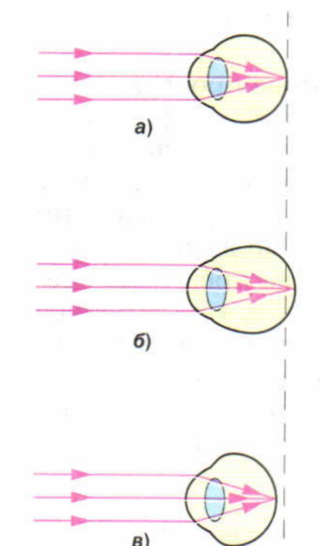


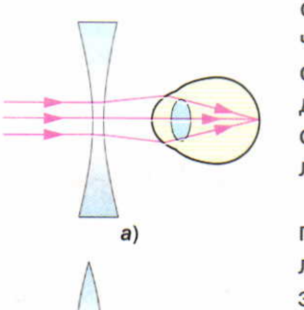
Рис. 165. Недостатки зрения

Дальнозорким называется глаз, у которого фокус при спокойном состоянии глазной мышцы лежит за сетчаткой (рис. 165, *в*).

Дальнозоркость может быть обусловлена тем, что сетчатка расположена ближе к хрусталику по сравнению с нормальным глазом. Изображение предмета получается за сетчаткой такого глаза. Если предмет удалить от глаза, то изображение попадает на сетчатку, отсюда и название этого недостатка — дальнозоркость.

Разница в расположении сетчатки даже в пределах одного миллиметра уже может приводить к заметной близорукости или дальнозоркости.

Люди, имевшие в молодости нормальное зрение, в пожилом возрасте становятся дальнозоркими. Это объясняется тем, что мышцы, сжимающие хрусталик, ослабевают и способность аккомодации уменьшается. Происходит это и из-за уплотнения хрусталика, теряющего способность сжиматься. Поэтому изображение получается за сетчаткой.



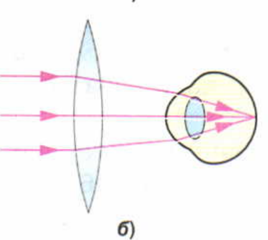


Рис. 166. Коррекция недостатков зрения с помощью линз

Близорукость и дальнозоркость устраняются применением линз. Изобретение очков явилось великим благом для людей, имеющих недостатки зрения.

Какие же линзы следует применять для устранения этих недостатков зрения?

У близорукого глаза изображение получается внутри глаза впереди сетчатки. Чтобы оно передвинулось на сетчатку, нужно уменьшить оптическую силу преломляющей системы глаза. Для этого применяют рассеивающую линзу (рис. 166, *а*).

Оптическую силу системы дальнозоркого глаза нужно, наоборот, усилить, чтобы изображение попало на сетчатку. Для этого используют собирающую линзу (рис. 166, *б*).

Итак, для исправления близорукости применяют очки с вогнутыми, рассеивающими линзами. Если, например, человек носит очки, оптическая сила которых равна –0,5 дптр (или –2 дптр, –3,5 дптр), то, значит, он близорукий.

В очках для дальнозорких глаз используют выпуклые, собирающие линзы. Такие очки могут иметь, например, оптическую силу +0,5 дптр, +3 дптр, +4,25 дптр.

ИТОГИ ГЛАВЫ

САМОЕ ГЛАВНОЕ

- **Свет** — это видимое излучение.
- **Источниками света** называют все тела, которые излучают свет.
- Если свет распространяется в однородной и прозрачной среде, то он распространяется *прямолинейно.*
- **Точечным источником света** называют светящееся тело, размеры которого намного меньше расстояния, на котором мы оцениваем его действие.
- **Закон отражения света:** отражённый луч лежит в той же плоскости, в которой лежат падающий луч и перпендикуляр к отражающей поверхности, проведённый в точке падения луча.

  Угол отражения равен углу падения:

  $$\angle\alpha = \angle\beta.$$
- **Закон преломления света:** преломлённый луч лежит в той же плоскости, в которой лежат падающий луч и перпендикуляр, проведённый в точке падения луча к границе раздела двух сред.

Отношение синуса угла падения к синусу угла отражения — величина постоянная для двух сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n,$$

где n — показатель преломления.

- **Фокусное расстояние линзы** — это расстояние от линзы до её фокуса.
  Изображения, даваемые собирающей линзой:
  действительное, уменьшенное, перевёрнутое, если предмет находится за двойным фокусом: $2F < d$;
  действительное, увеличенное, перевёрнутое, если предмет находится между фокусом и двойным фокусом: $F < d < 2F$;
  мнимое, прямое, увеличенное, если предмет находится между фокусом и линзой: $d < F$.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

1. Прямолинейное распространение света подтверждают:
   А. солнечные и лунные затмения
   Б. возникновение радуги
   В. миражи в пустыне
   Г. вспышки молнии

2. Оптическая сила линзы — это:
   А. величина, обратная её фокусному расстоянию
   Б. линия, вдоль которой распространяется энергия от источника света
   В. расстояние от линзы до её фокуса
   Г. величина, характеризующая скорость распространения света

3. Угол падения на плоское зеркало изменился от 45 до 60°. На сколько изменится угол между падающим и отражённым лучом?
   А. на 15°
   Б. на 105°

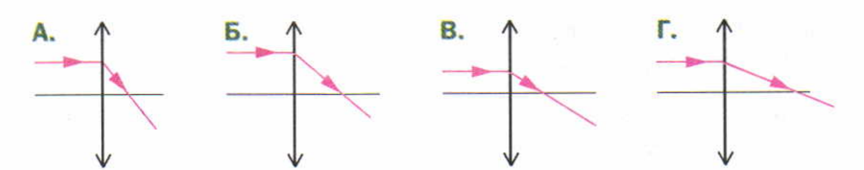
В. на 30°

Г. не изменится

4. Какие из представленных на рисунке линз являются собирающими?

А. **Б.** **В.** **Г.**

5. Какая из линз имеет максимальное фокусное расстояние?



6. Свет в однородной прозрачной среде распространяется прямолинейно — это:

А. закон отражения света

Б. закон преломления света

В. закон прямолинейного распространения света

Г. данное утверждение не является законом



1. Выполните задания, предложенные в электронном приложении.

2. На сайте http://class-fizika.narod.ru найдите тесты по теме «Световые явления» и проверьте себя.



№ 1 СРАВНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВ ТЕПЛОТЫ ПРИ СМЕШИВАНИИ ВОДЫ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы Определить количество теплоты, отданное горячей водой и полученное холодной при теплообмене, и объяснить полученный результат.

Приборы и материалы Калориметр, измерительный цилиндр (мензурка), термометр, стакан.

Примечание Калориметр — прибор, применяемый во многих опытах по тепловым явлениям.

Калориметр состоит из двух сосудов, разделённых воздушным промежутком. Дно внутреннего сосуда отделено от внешнего пластмассовой подставкой. Такое устройство позволяет уменьшать теплообмен содержимого внутреннего сосуда с внешней средой.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Налейте в калориметр горячую воду массой 100 г, а в стакан — столько же холодной. Измерьте температуры холодной и горячей воды.

   Горячую воду нужно наливать во внутренний сосуд калориметра, вставленный во внешний сосуд.

2. Осторожно влейте холодную воду в сосуд с горячей водой, помешайте термометром полученную смесь и измерьте её температуру.

3. Рассчитайте количество теплоты, отданное горячей водой при остывании до температуры смеси, и количество теплоты, полученное холодной водой при её нагревании до этой же температуры.

Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

Масса горячей воды m, кг	Начальная температура горячей воды t, °C	Температура смеси t_2, °C	Количество теплоты, отданное горячей водой Q, Дж	Масса холодной воды m_1, кг	Начальная температура холодной воды t_1, °C	Количество теплоты, полученное холодной водой Q_1, Дж

4. Сравните количество теплоты, отданное горячей водой, с количеством теплоты, полученным холодной водой, и сделайте соответствующий вывод.

№ 2 ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

Цель работы Определить удельную теплоёмкость металлического цилиндра.

Приборы и материалы Стакан с водой, калориметр, термометр, весы, гири, металлический цилиндр на нити, сосуд с горячей водой.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Налейте в калориметр воду массой 100—150 г комнатной температуры. Измерьте температуру воды.
2. Нагрейте цилиндр в сосуде с горячей водой. Измерьте её температуру (эта температура и будет начальной температурой цилиндра). Затем опустите его в калориметр с водой.
3. Измерьте температуру воды в калориметре после опускания цилиндра.
4. С помощью весов определите массу металлического цилиндра, предварительно обсушив его.

5. Все данные измерений запишите в таблицу.

Масса воды в калориметре m_1, кг	Начальная температура воды t_1, °C	Масса цилиндра m_2, кг	Начальная температура цилиндра t_2, °C	Общая температура воды и цилиндра t, °C

6. Рассчитайте:

а) количество теплоты Q_1, которое получила вода при нагревании:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1),$$

c_1 — удельная теплоёмкость воды;

б) количество теплоты Q_2, отданное металлическим цилиндром при охлаждении:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t),$$

c_2 — удельная теплоёмкость вещества цилиндра, значение которой надо определить.

Зная, что количество теплоты, полученное водой при нагревании, равно количеству теплоты, отданному цилиндром при охлаждении, можно записать:

$$Q_1 = Q_2, \text{ или } c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t).$$

В полученном уравнении неизвестной величиной является удельная теплоёмкость c_2; $c_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)}$. Подставив в уравнение значения величин, измеренных на опыте, вычислите c_2 — удельную теплоёмкость вещества, из которого изготовлен цилиндр. Сравните её с табличным значением.

№ 3 ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Цель работы Измерить влажность воздуха.

Приборы и материалы Психрометр или термометр, стакан.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Если в классе нет психрометра

1. С помощью лабораторного термометра определите температуру воздуха в классе. Результаты измерений запишите в таблицу.
2. Резервуар этого же термометра обмотайте кусочком ткани, конец которой опустите в стакан с водой.

Примечание Температура воды в стакане и воздуха в комнате должна быть одинаковой.

3. Как только прекратится понижение температуры, запишите показания термометра $t_{вл}$ в таблицу.
4. Найдите разность показаний сухого и влажного термометров Δt.
5. По значениям t и Δt по психрометрической таблице найдите относительную влажность воздуха φ.

Если в классе есть психрометр

1. Запишите в таблицу показания сухого термометра.
2. Снимите показания влажного термометра и запишите в таблицу.
3. Определите разность показаний сухого и влажного термометров Δt.
4. По психрометрической таблице найдите относительную влажность φ.

t	$t_{вл}$	Δt	φ

Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11	—	—	—	—	—
4	100	85	70	56	42	28	14	—	—	—	—
2	100	84	68	51	35	20	—	—	—	—	—

Окончание табл.

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
6	100	86	73	60	74	35	23	10	—	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
14	1 00	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	71	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	74	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

№ 4 СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ И ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА В ЕЁ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ

Цель работы Убедиться на опыте, что сила тока в различных последовательно соединённых участках цепи одинакова.

Приборы и материалы Источник питания, низковольтная лампа на подставке, ключ, амперметр, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Соберите цепь по рисунку 167, *а*. Запишите показание амперметра.

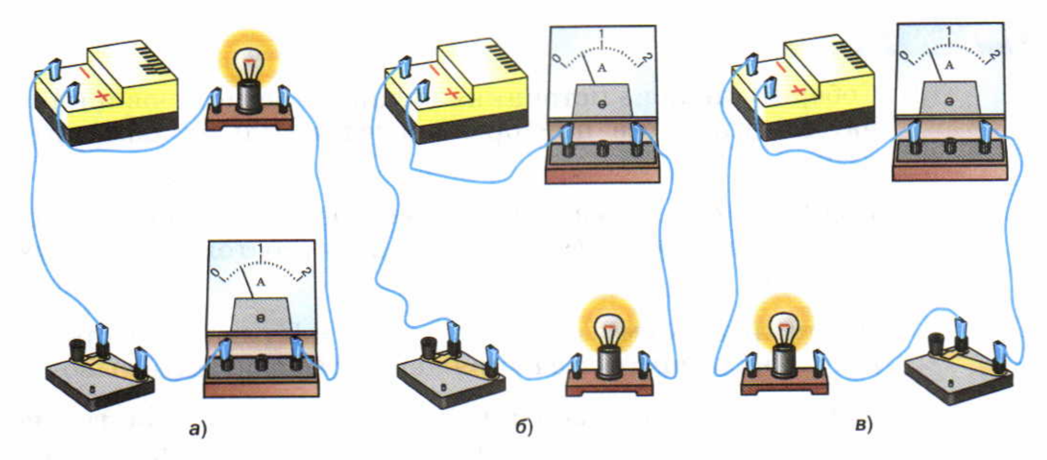


Рис. 167

2. Затем включите амперметр так, как показано на рисунке 167, *б*, а потом так, как на рисунке 167, *в*.

3. Сравните все полученные показания амперметра. Сделайте вывод.

4. Нарисуйте в тетради схемы соединения приборов.

Внимание! Нельзя присоединять амперметр к зажимам источника без какого-либо приёмника тока, соединённого последовательно с амперметром. Можно испортить амперметр!

№ 5 ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель работы Измерить напряжение на участке цепи, состоящем из двух последовательно соединённых резисторов, и сравнить его с напряжением на концах каждого резистора.

Приборы и материалы Источник питания, резисторы — 2 шт., низковольтная лампа на подставке, вольтметр, ключ, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Соберите цепь из источника питания, резисторов и ключа, соединив все приборы последовательно. Замкните цепь.
2. Измерьте напряжения U_1, U_2 на концах каждого резистора и напряжение U на участке цепи, состоящем из двух резисторов.
3. Вычислите сумму напряжений $U_1 + U_2$ на обоих резисторах и сравните её с напряжением U. Сделайте вывод.
4. Начертите схему собранной вами цепи и покажите на ней, куда подключается вольтметр при измерении напряжения на каждом резисторе и на двух резисторах вместе.

Дополнительное задание

Измерьте напряжение на полюсах источника питания и на зажимах лампы. Сравните эти напряжения.

№ 6 РЕГУЛИРОВАНИЕ СИЛЫ ТОКА РЕОСТАТОМ

Цель работы Научиться пользоваться реостатом для изменения силы тока в цепи.

Приборы и материалы Источник питания, ползунковый реостат, амперметр, ключ, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Рассмотрите внимательно устройство реостата и установите, при каком положении ползунка сопротивление реостата наибольшее.
2. Составьте цепь (рис. 168), включив в неё последовательно амперметр, реостат на полное сопротивление, источник питания и ключ.
3. Замкните цепь и отметьте показание амперметра.

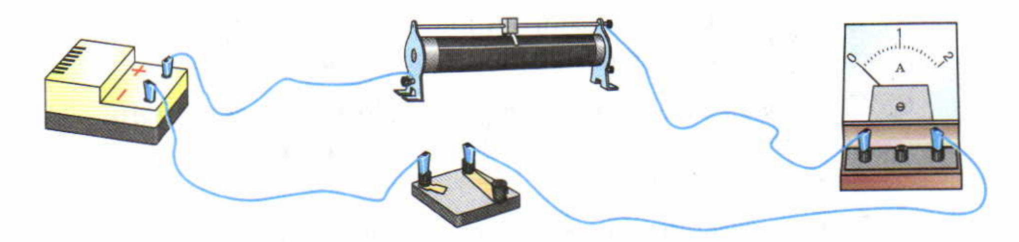


Рис. 168

4. Уменьшайте сопротивление реостата, плавно и медленно передвигая его ползунок (но не до конца!). Наблюдайте за показаниями амперметра.

5. После этого увеличивайте сопротивление реостата, передвигая ползунок в противоположную сторону. Наблюдайте за показаниями амперметра.

Внимание! Реостат нельзя полностью выводить, так как сопротивление его при этом становится равным нулю, и если в цепи нет других приёмников тока, то сила тока может оказаться очень большой и амперметр испортится.

№ 7 ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ПРИ ПОМОЩИ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

Цель работы Научиться измерять сопротивление проводника при помощи амперметра и вольтметра. Убедиться на опыте, что сопротивление проводника не зависит от силы тока в нём и напряжения на его концах.

Приборы и материалы Источник питания, исследуемый проводник (небольшая никелиновая спираль), амперметр и вольтметр, реостат, ключ, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Соберите цепь, соединив последовательно источник питания, амперметр, спираль, реостат, ключ.

2. Измерьте силу тока в цепи.

3. К концам исследуемого проводника присоедините вольтметр и измерьте напряжение на проводнике.

4. С помощью реостата измените сопротивление цепи и снова измерьте силу тока в цепи и напряжение на исследуемом проводнике.

5. Результаты измерений занесите в таблицу.

№ опыта	Сила тока I, А	Напряжение U, В	Сопротивление R, Ом
1			
2			

6. Используя закон Ома, вычислите сопротивление проводника по данным каждого отдельного измерения.

7. Результаты вычислений занесите в таблицу.

№ 8 ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ И РАБОТЫ ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАМПЕ

Цель работы Научиться определять мощность и работу тока в лампе, используя амперметр, вольтметр и часы.

Приборы и материалы Источник питания, низковольтная лампа на подставке, вольтметр, амперметр, ключ, соединительные провода, секундомер (или часы с секундной стрелкой).

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Соберите цепь из источника питания, лампы, амперметра и ключа, соединив всё последовательно (см. рис. 68).

2. Измерьте вольтметром напряжение на лампе.

3. Начертите в тетради схему собранной цепи и запишите показания приборов.

4. Вычислите мощность тока в лампе.

5. Заметьте время включения и выключения лампы. По времени её горения и мощности определите работу тока в лампе.

6. Проверьте, совпадает ли полученное значение мощности с мощностью, обозначенной на лампе. Если значения не совпадают, объясните причину этого.

№ 9 СБОРКА ЭЛЕКТРОМАГНИТА И ИСПЫТАНИЕ ЕГО ДЕЙСТВИЯ

Цель работы Собрать электромагнит из готовых деталей и на опыте проверить, от чего зависит его магнитное действие.

Приборы и материалы Источник питания, реостат, ключ, соединительные провода, компас, детали для сборки электромагнита.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Составьте электрическую цепь из источника питания, катушки, реостата и ключа, соединив всё последовательно. Замкните цепь и с помощью компаса определите магнитные полюсы у катушки.

2. Отодвиньте компас вдоль оси катушки на такое расстояние, на котором действие магнитного поля катушки на стрелку компаса незначительно. Вставьте железный сердечник в катушку и пронаблюдайте действие электромагнита на стрелку. Сделайте вывод.

3. Изменяйте с помощью реостата силу тока в цепи и наблюдайте действие электромагнита на стрелку. Сделайте вывод.

Дополнительное задание

Соберите дугообразный магнит из готовых деталей. Катушки электромагнита соедините между собой последовательно так, чтобы на их свободных концах получились разноимённые магнитные полюсы. Проверьте полюсы с помощью компаса. Определите с помощью компаса, где расположен северный полюс магнита, а где — южный.

№ 10 ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА (НА МОДЕЛИ)

Цель работы Ознакомиться с основными деталями электрического двигателя постоянного тока на модели этого двигателя.

Приборы и материалы Модель электродвигателя, источник питания, ключ, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Подключите к модели электродвигателя источник питания и приведите его во вращение. Если двигатель не работает, найдите причины и устраните их.
2. Измените направление вращения подвижной части электродвигателя, изменив направление тока в цепи.

Примечание Подвижная часть электродвигателя называется якорем. Электромагнит, создающий магнитное поле, в котором вращается якорь, называется ***индуктором***.

№ 11 ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЛИНЗЫ

Цель работы Научиться получать различные изображения при помощи собирающей линзы.

Приборы и материалы Собирающая линза, экран, лампа с колпачком, в котором сделана прорезь, измерительная лента.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. При помощи линзы получите изображение окна на экране. Измерьте расстояние от линзы до изображения — это будет приблизительно фокусное расстояние линзы F. Оно будет измерено тем точнее, чем дальше находится экран от окна.
2. Последовательно располагайте лампу на различных расстояниях d от линзы: 1) $d < F$; 2) $F < d < 2F$; 3) $d > 2F$.

Каждый раз наблюдайте полученное на экране изображение прорези лампы.

3. Сравните каждое изображение с изображениями на рисунках 158, 159, 160.

4. Запишите в таблицу, каким будет изображение в каждом из указанных случаев.

№ опыта	Фокусное расстояние F, см	Расстояние от лампы до линзы d, см	Вид изображения

5. Сформулируйте и запишите вывод о том, как меняется изображение прорези на колпачке лампы при удалении предмета (лампы) от линзы.

Дополнительное задание

Поместите лампу примерно на двойном фокусном расстоянии от линзы. Перемещая экран, получите на нём изображение, равное прорези лампы (оно будет действительным и перевёрнутым). Слегка передвигая лампу и экран, добейтесь наиболее чёткого изображения прорези. В этом случае и лампа, и экран будут находиться в двойном фокусе линзы. Вычислите фокусное расстояние и оптическую силу линзы. Собирающая линза даёт разнообразные изображения предмета. Приведите примеры использования разных видов изображений.

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

Упр. 8. 2. а) 162 кДж; б) 3220 Дж; в) 52 800 кДж. 3. 4200 кДж.

Упр. 9. 1. $5,1 \cdot 10^8$ Дж; $5,4 \cdot 10^6$ Дж. 2. $7,4 \cdot 10^7$ Дж; $11 \cdot 10^{10}$ Дж. 3. 5 кг.

Упр. 12. 1. У первого. У второго. Не одинаковы. 4. 1360 кДж. 5. 500 кДж; 1340 кДж.

Упр. 15. 1. 100% .

Упр. 16. 4. ≈ 345 кДж. 5. ≈ $1,36 \cdot 10^7$ Дж. 6. ≈ $8,4 \cdot 10^5$ Дж; ≈ $5,4 \cdot 10^6$ Дж.

Упр. 17. 2. 45% . 3. 1050 Дж.

Упр. 21. 1. 6 протонов и 6 нейтронов.

Упр. 24. 1. 2 А; 0,1 А; 0,055 А; 3000 А. 2. 840 Кл. 3. $5,6 \cdot 10^{20}$ электронов.

Упр. 27. 1. 4 В. 2. 1 А; 0,25 А.

Упр. 28. 3. 2 Ом.

Упр. 29. 1. 4,4 А. 2. 217 В. 3. 15 кОм.

Упр. 30. 1. Сопротивление второго проводника в 8 раз больше, чем сопротивление первого. 2. а) 0,112 Ом; б) 3,2 Ом; в) 0,05 Ом. 3. ≈ 1,5 А. 4. ≈ 0,2 В.

Упр. 31. 2. 12 Ом. 4. 150 м.

Упр. 32. 1. 0,8 В; 1,2 В; 2 В. 3. 110 В. 4. ≈ 0,324 А; ≈ 4,4 В; ≈ 1 В; ≈ 0,6 В.

Упр. 33. 1. 1,2 А; 0,8 А; 2 А. 3. 1,2 А; 0,6 А; 1 А; 2,8 А; ≈ 8,6 Ом. 5. $U_{BC} = 12$ В; $I_2 = 2$ А; $I_1 = I_4 = 3$ А.

Упр. 34. 1. 10,8 кДж. 2. 262,5 Дж. 3. $A_2/A_1 = 4$.

Упр. 35. 1. 76,2 Вт. 2. 660 Вт. 3. 3,6 кДж; 720 кДж; 18 000 кДж.

Упр. 36. 1. 0,9 кВт · ч.

Упр. 37. 1. 900 кДж.

Упр. 38. 1. $3,3 \cdot 10^{-12}$ Кл. 2. 27 кВ.

Упр. 45. 2. 0°.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

И

К

Л

М

Н

О

П

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1 ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

ГЛАВА 3 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

ГЛАВА 4 СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Учебное издание

Перышкин Александр Васильевич

ФИЗИКА

8 класс

Учебник
для общеобразовательных учреждений

Зав. редакцией *Е. Н. Тихонова*
Ответственный редактор *И. Г. Власова*
Художественные редакторы *М. В. Мандрыкина, Ю. В. Христич*
Художественное оформление *А. В. Копалин*
Художники *О. А. Новотоцких, В. С. Давыдов, Ю. В. Христич*
Технический редактор *И. В. Грибкова*
Компьютерная верстка *Г. А. Фетисова*
Корректор *Г. И. Мосякина*